

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

**TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLEDEN ENERJİ ÜRETİMİNİN BUGÜNÜ VE
YARINI**



YÜKSEK LİSANS

M. Hüseyin ERCAN

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sedat YAŞAR

MAYIS 2022

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

**TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLEDEN ENERJİ ÜRETİMİNİN BUGÜNÜ VE
YARINI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**M. Hüseyin ERCAN
(36193628001)**

Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sedat YAŞAR

Mayıs 2022

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalıőmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgmeden beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Prof. Dr.Sedat YAŞAR'a,

alıőmalarında ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalıőmalarım süresince de benden her türlü desteklerini esirgemeyen aileme,

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “TÜRKİYE’DE BİYOKÜTLEDEN ENERJİ ÜRETİMİNİN BUGÜNÜ VE YARINI” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

M.Hüseyin ERCAN



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ.....	i
ONUR SÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ.....	ivi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1.GİRİŞ.....	H
	ata! Yer işareti tanımlanmamış.
	1.1 Türkiye'nin Enerji
Görünümü.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
2. MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
2.1 Biyokütle Enerji Dönüşüm Prosesleri.....	19
2.1.1 Doğrudan Yakma.....	23
2.1.1.1.Yanma Şekilleri.....	25
2.1.1.2.Yanma İşlemi.....	25
2.1.1.3.Yanma Sistemi Çeşitleri.....	27
2.1.1.3.1.Sabit Yataklı Yakma.....	27
2.1.1.3.2.Eğimli Izgara Fırını.....	28
2.1.1.3.3.Akışkan Yataklı Yanma.....	29
2.1.2. Piroliz.....	30
2.1.2.1.Yavaş Piroliz.....	32
2.1.2.2.Kömürleşme.....	33
2.1.2.3. Hızlı Piroliz.....	33
2.1.2.4.Ultra Hızlı Piroliz.....	35
2.1.2.5.Hidrosipiroliz ve Hidropiroliz.....	35
2.1.2.6.Vakum Pirolizi.....	36
2.1.3. Gazifikasyon(Gazlaştırma).....	36
2.1.4.Biyodizel.....	39
2.1.4.1.Biyodizel Üretim Yöntemi.....	39
2.1.4.2.Biyodizelin Çevresel Özellikleri.....	41
2.1.5.Biyoetanol.....	41
2.1.6.Biyogaz.....	43
3. BULGULAR.....	45
3.1. Türkiyenin Biyokütle Potansiyeli.....	45
3.1.1 Tarımsal Üretimden Kaynaklanan Biyokütle Miktarı ve Isı Değeri.....	46
3.1.2.Bölgelere Göre Tarımsal Üretimden Elde Edilen Biyokütle Miktarı ve Isıl Değeri.....	49
3.1.3.Hayvansal Güvresel ve Biyogaz Miktarları.....	52
3.1.4.Bölgelere Göre Hayvansal Gübre ve Biyogaz Miktarları.....	54
4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Elektrik enerjisi talebi ve yıllara göre artış oranı(GWh-%)	5
Şekil 1.2. Yıllara göre puant talep ve artış oranı(MW-%)	5
Şekil 1.1: Yıllara göre puant talep ve elektrik enerjisi talebi artış oranları (%).....	6
Şekil 1.2: 2020 yılında lisanslı elektrik üretim ve tüketimin aylık dağılımı (gwh).....	6
Şekil 1.5: 2020 yılı lisanslı elektrik üretiminin kaynaklara dağılımı (%).....	7
Şekil 1.6. 1990-2020 yılları arasında kaynağa göre lisanslı elektrik üretimi (GWh)	8
Şekil 1.7. Türkiye kurulu gücünün yıllık gelişimi	9
Şekil 1.8. Türkiye'nin kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (2010-2020)	10
Şekil 1.9. 2020 yılı Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı....	11
Şekil 1.10. 2020 yılı sonu itibariyle lisanslı kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı (%)...12	
Şekil 1.11. Yıllar itibariyle lisanslı kurulu gücün kaynak bazında gelişimi (mw).....	13
Şekil 1.12. 2020 yılı sonu itibariyle lisanssız kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı(%)..15	
Şekil 1.13. 2020 yılı aylar itibariyle elektrik ithalatı (mwh).....	16
Şekil 1.14. 2020 yılı aylar itibariyle elektrik ihracatı (mwh)	17
Şekil 1.15. 2020 yılı YEKDEM kurulu gücünün kaynaklara dağılımı (%).....	18
Şekil 2.1.Biyokütle enerji teknolojisi temel özellikleri.....	20
Şekil 2.2 Biyokütlenin farklı enerji formlarına dönüşümü.....	21
Şekil 2.3 Biyokütle dönüşümünde termokimyasal prosesler.....	23
Şekil 2.4 Sabit yataklı yakma sistem dizaynı.....	28
Şekil 2.5. Akışkan yataklı yanma sistem dizaynı.....	29
Şekil 2.6. Pirolizden elde edilebilen farklı enerji ürünleri / formları.....	31
Şekil 2.7. Gazlaştırma ile enerji üretimi.....	37
Şekil 2.8. Biyokütle entegre gazlaştırma kombine çevrim.....	38
Şekil 2.9. Biyodizel üretim prosesi	40
Şekil 2.10. Biyogaz üretiminde süreç adımları.....	42
Şekil 2.11. Biyogaz üretiminde süreç adımları.....	43
Şekil 3.1. Kaynak bazlı olarak Türkiye biyokütle potansiyelinin yüzde oranı	46
Şekil 3.2. Türkiye topraklarının varlık oranı	47
Şekil 3.3. Yağlı tohumların ekim oranı	48
Şekil 3.4. Yenilebilir kök ve yumru köklerin ekim oranı	49
Şekil 3.5. Biyokütle potansiyeli olan ürünlerin yetiştirme alanlarının oranı	49

Şekil 3.6. Bölgelere ve güneş bölgelerine göre Türkiye haritası.....	57
Şekil 3.7. Hayvansal atıkların enerji değeri (TEP/yıl).....	57
Şekil 3.8. Tarımsal atıkların enerji değeri (Tep/Yıl)	58
Şekil 3.9. Türkiye'deki Şeker fabrikalarında biyoetanolün mevcut potansiyeli	59
Şekil 3.10. Dünya genelinde ton eşdeğer petrol cinsinden toplam kömür tüketimi	60
Şekil 3.11. 2030 Türkiye'deki tahmini biyokütle enerji üretimi	61
Şekil 3.12. 2030 yılına kadar biyokütle kaynaklarından tahmini enerji hedefi(MW)	61
Şekil 3.13. 2030 yılına kadar Türkiye için tahmini enerji ihtiyacı.....	62



TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. 2019-2023 dönemi stratejik planı	2
Tablo 1.2. Lisanslı ve lisanssız kurulu güç, puant talep, lisanslı ve lisanssız elektrik üretim, tüketim, ithalat ve ihracat verileri	4
Tablo 1.3. 2020 yılı lisanslı elektrik üretiminin il bazında dağılımı (gwh-%).....	9
Tablo 1.4. 2010-2020 yılları arasında Türkiye'nin birincil enerji kaynaklara göre kurulu enerji kapasitesinin gelişimi	10
Tablo 1.5. Lisanslı kurulu gücün il bazında dağılımı (mw-%).....	14
Tablo 1.6. Lisanssız kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı (mwe-%).....	14
Tablo 1.7. Lisanssız elektrik üretiminin illere göre dağılımı (mwh-%).....	15
Tablo 1.8. Yıllar itibariyle lisanslı yekdem santral sayısı (adet)	17
Tablo 1.9. YEK Destekleme Mekanizması katılımcılarının yıllara göre kurulu gücü	17
Tablo 1.10. Yıllar itibariyle YEKDEM katılımcılarının yıllık üretim miktarları (mwh)*	18
Tablo 3.1. Türkiye'nin kaynak bazlı biyokütle potansiyeli	45
Tablo 3.2. Türkiye topraklarının varlığı.....	47
Tablo 3.3. Farklı hayvan türlerinden elde edilen gübre miktarı.....	53
Tablo 3.4. Farklı hayvan türlerinden elde edilen biyogaz miktarı.....	53

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

- A** : Alan
- OKBM** : Ortalama Kuru Biyokütle Miktarı
- OKBED**: Ortalama Kuru Biyokütle Enerji Değeri
- OKBID** : Ortalama Kuru Biyokütle Isıl değeri
- BEPA** : Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası
- CH₄** : Metan Gazı
- CO₂** : Karbon Dioksit
- EPDK** : Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu
- ETKB** : Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
- GW** : Gigawatt
- GWh** : Gigawatt Saat
- H₂** : Hidrojen
- Ha** : Hektar
- K** : Kelvin
- Kcal** : Kilogram Kalori
- Kg** : Kilogram
- Ktep** : Kiloton Eşdeğer Petrol
- KWh** : Kilowatt Saat
- Lt** : Litre
- Lng** : Sıvılaştırılmış Doğal Gaz
- MJ** : Megajoule
- Mtep** : Milyon ton eşdeğer petrol
- MW** : Megawatt
- MWh** : Megawatt Saat
- PH** : Potansiyel Hidrojen
- Ar&Ge** : Araştırma ve Geliştirme
- YEK** : Yenilenebilir Enerji Kaynakları
- SBB** : T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı
- TEİAŞ** : Türkiye Elektrik İletim A.Ş
- TEP** : Ton Eşdeğer Petrol
- TJ** : Terajoule
- TL** : Türk lirası
- TSI** : Türk Standartlar Enstitüsü

TWh : Terawatt saat

USD : Birleşik Amerika Doları

YEGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

°C : Degree Celsius

BECCS: Biyoenerji ile Karbon Yakalama ve Depolama

CCS: Karbon tutma ve depolama

G: Serbest enerji

H: Entalpi

T: Mutlak sıcaklık

S: Entropi



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE'DE BİYOKÜTLEDEN ENERJİ ÜRETİMİNİN BUGÜNÜ VE YARINI

M. Hüseyin ERCAN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Bilimi ve Teknolojileri Anabilim Dalı

71+XII sayfa

2022

Danışman: Prof. Dr. Sedat YAŞAR

Ülkemizin genel olarak enerji ihtiyacı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu yakıtların başlıca dezavantajları çevreyi kirletmeleri ve ülkemizin dışa bağımlı olmasına neden olmasıdır. Biyokütle çeşitli yerlerde yetiştirilebilir, depolanabilmesi kolay, sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı ve fosil kaynaklara göre çevresel etkileri olumludur. Biyokütle enerjisi günümüzde elektrik, kimyasal hammaddeler ve sıvı yakıtlar gibi farklı endüstrilerde kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı biyokütle enerjisi Türkiye için önem kazanmış ve bu önem giderek artmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'nin günümüz enerji durumu, gelecek enerji senaryoları, biyokütle enerji potansiyelinin mevcut durumu ve gelecekteki mevcut potansiyeli araştırılmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu 2021 verilerinden tarım ve hayvan istatistik verileri elde edilmiştir. Çalışmaya göre toplam ekili alan 15.856.352 hektar ve bu alandan elde edilebilecek ortalama kuru biyokütle miktarı 436.049.652,5 tondur. Hesaplamalar sonucu bu alanın ortalama kuru biyokütle enerji miktarı 176.600.109,3 TEP'tir. Bu kuru biyokütle, 2,053,859 MW enerjiye eşdeğerdir. Biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilen toplam hayvan sayısı 408.561.087 adettir. Türkiye'de hayvanlardan elde edilen atık miktarı 96.655.868,19 tondur. Bu atıklardan 4.309.771.357 m³/yıl biyogaz elde edilebilmektedir. Bu biyogaz 2,03x10¹⁰ kWh/yıl elektrik enerjisine eşdeğerdir.

Anahtar Kelimeler: Türkiye, Yenilenebilir Enerji, Tarımsal Biyokütle, Hayvan Bazlı Biyokütle, Biyogaz,

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF ENERGY PRODUCTION FROM BIOMASS IN TURKEY, CURRENT STATUS AND FUTURE FORECAST

M. Hüsiyin ERCAN

Inonu University
Institute of Science
Department of Energy Science and Technologies

71+XII sayfa

2022

Supervisor: Prof. Dr.Sedat YAŞAR

Our country's energy needs are generally met from fossil fuels. The main disadvantages of these fuels are that they pollute the environment and cause our country to be dependent on foreign sources. Biomass can be grown in various places, it is easy to store, it helps socio-economic developments and its environmental effects are positive compared to fossil sources. Biomass energy is used in different industries such as electricity, chemical raw materials and liquid fuels. Because of these features, biomass energy has gained importance for Turkey and this importance has increased gradually. In this study, Turkey's current energy situation, future energy scenarios, current situation of biomass energy potential and current potential in the future have been investigated. Agricultural and animal statistics were obtained from the Turkish Statistical Institute's 2021 data. According to the study, the total cultivated area is 15.856.352 hectares and the average dry biomass amount that can be obtained from this area is 436.049.652,6 tons. As a result of the calculations, the average dry biomass energy amount of this area is 176.600.109,4 TOE. This dry biomass is equivalent to 2.053.858 MW of energy. The total number of animals evaluated as a biomass energy source is 408,561,088. The amount of waste obtained from animals in Turkey is 96.655.868,18 tons. 4.309.771.358 m³/year biogas can be obtained from these wastes. This biogas is equivalent to 2.03x10¹⁰ kWh/year electrical energy.

Keywords: Turkey, Renewable Energy, Agricultural Biomass, Animal-Based Biomass, Biogas,

1.GİRİŞ

Türkiye ekonomisinde son 20 yılda önemli ilerlemeler kaydedilmiş ve ekonomik büyüklükte önemli gelişmeler yaşanmıştır. Türkiye 2021 yılında dünyanın 20. Avrupa'nın 8. büyük ekonomisidir. Ülkemiz aynı zamanda en güçlü ekonomilerin temsil edildiği G-20'nin aktif bir üyesidir, ekonomistler ve siyaset bilimciler tarafından dünyanın en yeni sanayileşmiş ülkelerden biri olarak tanımlanır. Bu ekonomik büyümenin sağlanmasında enerji sektörü önemli bir rol oynamaktadır. 2003-2021 yılları arasında birincil enerji arzımızın ortalama büyümesi, ekonominin enerji tüketimi ile büyüdüğünü göstermektedir (ETKB, 2021a). Ekonomideki gelişmeler ve artan refah seviyesi sonucu olarak, enerji sektörünün her alanında talepte hızlı bir artış yaşanmaktadır.

Ülkeler uluslararası politikalarını belirlerken, enerji arz güvenliği her zamankinden daha önemli hale geldi. Ekonomik büyüme, enerji talebi ve çevre ilişkileri en zengin kaynaklara sahip olan ülkeler için bile temel öneme sahiptir. Dünyada dengeler değişiyor ve enerji sektörü son derece dinamik. Ülkemiz, belirleyeceği enerji stratejisi çok kritik bir konudur.

1.1.Türkiye'nin Enerji Görünümü

Enerji politikalarının önemi toplum refahı, ekonomik kalkınma, sanayi ve büyümeye katkısı ile sınırlı değildir. Ülkelerin küresel politikalarını belirleyen iki faktör vardır. Birincisi enerji arz güvenliğinin sağlanması, ikincisi ise enerji piyasasında ülkelere avantaj sağlamasıdır.

Dünyanın ilk on ekonomisi arasında yer almayı hedef belirleyen ülkemizin enerji ve doğal kaynaklar alanında ulusal politikalar uygulaması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda Milli Enerji ve Maden Politikası, milli ve yerli üretime öncelik verecek şekilde oluşturulmuştur. Enerji ve doğal kaynaklar alanında oluşturulan bu politikalar, enerji ve doğal kaynaklarda enerji arz güvenliği, öngörülebilir piyasalar ve yerleşme amaçları dikkate alınarak belirlenmektedir (ETKB, 2021a).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan 2019-2023 stratejik planında yedi ana amaç ve otuz bir hedef ortaya konmuştur (Tablo 1.1). Bu planda enerji ve doğal kaynakların ekonomiye kazandırılmasında tüketilmesinde sürecinde vazgeçilmez bir yaklaşım olarak görülen sürdürülebilirlik ayrı bir amaç olarak değil tüm amaçları kapsayan bir çerçeve olarak değerlendirilmiştir.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı 2018-2020 Orta Vadeli Planında ülkenin kalkınması konusunda çeşitli politikalar geliştirilmiştir. Bu politikalar enerji alanını da kapsamaktadır. Yenilenebilir enerjinin toplam enerji üretimindeki payının artırılması, yenilenebilir enerji yatırımlarında dışa bağımlılığı azaltacak Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları Programının devam ettirilmesi, petrol ve doğal kaynakların aranmasının artırılması olmak üzere enerji alanında sekiz politika belirlenmiştir. Bunlar yerli rezervlerin artırılmasını sağlamak amacıyla gaz, kaya gazı ve kömür, yerli linyit kullanımının çevre dostu bir şekilde devam ettirilmesi, ulaştırma, sanayi ve konut sektörlerinde enerji verimli kullanım programı başlatılması, kamu elektriğinde önlemler alınması enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik üretim santralleri, elektrik iletim ve dağıtım şebekeleri, enerji, sağlık, otomotiv, demiryolu sistemleri, bilişim ve savunma sanayi gibi öncelikli sektörlerde teknolojik yatırımların desteklenmesi, madencilik sektöründe arama yatırımlarının artırılması ve cevher işlemeye öncelik verilmesi için Ar-Ge ve teknoloji transferi ile zenginleştirme yatırımları maden kaynaklarının kullanımı bağlamında arama ve üretim teknolojileridir. (SBB, 2019).

Amaç 1	Sürdürülebilir enerji arz güvenliğini sağlamak
Amaç 2	Enerji verimliliğini önceliklendirmek ve artırmak
Amaç 3	Kurumsal ve sektörel kapasiteyi güçlendirmek
Amaç 4	Enerji ve Tabii kaynaklarda bölgesel ve küresel etkinliği artırmak
Amaç 5	Enerji ve tabii kaynaklar alanında teknoloji geliştirme ve yerlileştirmek
Amaç 6	Piyasalarda öngörülebilirliği artırmak
Amaç 7	Sürdürülebilir madencilik ile üretim kapasitesini arttırmak.

Tablo 1.1. 2019-2023 dönemi stratejik planı (ETKB,2021)

Birincil enerji kaynakları açısından ülkenin dışa bağımlılığının azaltılabilmesi ve arz güvenliğinin sağlanabilmesi kapsamında bazı hedefler belirlenmiştir. Bu hedefler, kaynakların çeşitlendirilmesi, sondaj ve sismik arama faaliyetleri, enerji altyapısının güçlendirilmesi, enerji verimliliği ile çevre ve sürdürülebilirliğin önceliklendirilmesidir. Bu kapsamda ulaşılması planlanan hedeflerden bazıları; Akkuyu nükleer santralının ve Sinop nükleer santrallerinin devreye alınması ile ülkemiz elektrik enerjisi üretiminin en az %10'unun nükleer santrallerden sağlanması, doğal gaz ithalatı için kaynak, ülke ve güzergahın çeşitlendirilmesi, ülke içinde petrol ve doğalgaz arama ve üretim faaliyetlerinin

artırılması ve denizde yeni ikmal kaynaklarının ortaya çıkarılması ve mevcut rezervlerin geliştirilmesi, Oruç Reis ve Barbaros Hayrettin Paşa gemileri ile Karadeniz ve Akdeniz 'de sismik aramalar yapılması, kömür aramalarına yönelik faaliyetleri hızlandırmak ve bu doğrultuda Türkiye'nin doğalgaz depolama kapasitesinin ülke tüketiminin %20'sine çıkarılması için gerekli teşvikler ve sondaj miktarının artırılması, doğal gaz iletiminin kısa ve orta vadeli arz-talep dengesi ve uzun vadeli üretim-geliştirme doğrultusunda belirlenmesi ve doğal gazın belirli kriterlere göre işletilmesini planlamaktadır. Ekonomik faaliyetlerin yoğun olması, sanayi işletmelerinin enerji verimliliğini hızlandırmak, enerji yoğunluğunu azaltmak ve enerji verimliliği piyasasını iyileştirmek için verimlilik artırıcı projelerini desteklemek, enerji verimliliğinde etkinliği artırmak, enerji arz güvenliği, dışa bağımlılık risklerinin azaltılması, çevre koruma ve hava kirliliği ile mücadele, ısınma amaçlı enerji tüketiminde kömür yerine doğal gazın kullanımını teşvik etmek ve doğalgaz kullanımını yaygınlaştırarak ülkemizin hava kalitesini iyileştirmektir. (ETKB, 2021a).

Ülkemizde özel sektör, enerji ve doğal kaynaklar alanında yürütülen çalışmaların en büyük destekçilerinden biri olmasından dolayı özel sektörün önünü açacak reform ve teşviklerin yapılması önemlidir. Bu kapsamda elektrik üretimi, iletim ve dağıtım altyapısı, enerji verimliliği, nükleer enerji ve yenilenebilir enerji alanlarında enerji ve doğal kaynaklara yönelik düzenlemeler planlanmaktadır. Bu kapsamda belirlenen hedefler, rüzgar enerjisi ve güneş enerjisi potansiyel atlaslarının güncellenmesi ve biyokütle enerjisi potansiyel atlasının oluşturulması, yenilenebilir enerji kaynak alanlarında yatırımların gerçekleştirilmesi, doğalgazda talep yönetimi mekanizmalarının uygulanması, madencilik sektörü ile ilgili kurum ve kuruluşlar, madencilik sektörünün kurumsallaşması ve kamu kurum temsilcilerinden oluşan "Madencilik Koordinasyon Kurulu"nun oluşturulması, kamunun yeniden yapılandırılmasıdır. (ETKB, 2021a).

Tablo 1.2'de 2020 yılı lisanssız ve lisanslı kurulu güç, puant(peak) talep, lisanssız ve lisanslı elektrik üretim, tüketim, ihracat ve ithalat verileri yer almaktadır. Tablo 1.2'de 2019 yılına göre 2020 yılında tüketim %0,8 artmış ve lisanslı üretim %0,1 azalmıştır. Puant talep ve lisanslı kurulu güç 2019 yılına göre sırasıyla %10 ve %4,8 arttı. Lisanssız güç ve üretim değerlerinin sırasıyla %8,1 ve %14,4 arttığı görülüyor.

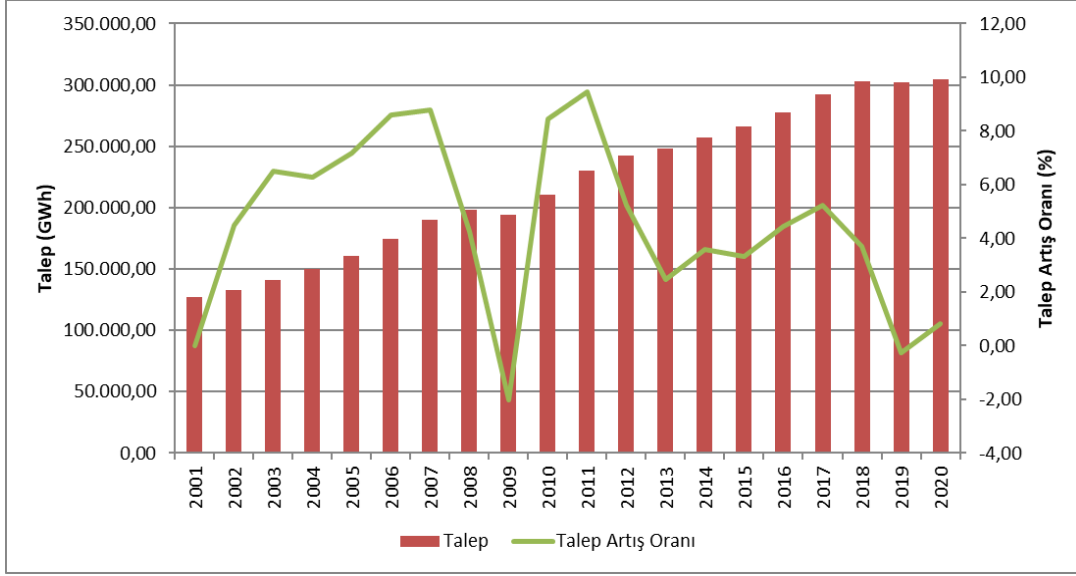
Parametre	Birim	2018	2019	2020	2019-
-----------	-------	------	------	------	-------

					2020 Değişim
Lisanslı Kurulu kapasite	MWe	83.187,1	84.960,0	89.067,1	4,8
Lisanssız Kurulu Kapasite	MWe	5.310,6	6.309,3	6.823,5	8,1
Puant Talep	MW	46.160	45.324	49.852	10,0
Lisanslı Üretim	GWh	296.003,7	294.251,3	294.084,7	-0,1
Lisanssız Üretim	GWh	8.212,8	9.829,5	11.245,5	14,4
Tüketim	GWh	302.772,3	301.982,7	304.394,9	0,8
İthalat	GWh	2.466,0	2.211,5	1.888,3	-14,6
İhracat	GWh	3.073,6	2.788,7	2.484,0	-10,9

Tablo 1.2. Lisanssız ve lisanslı kurulu güç, puant(peak) talep, lisanssız ve lisanslı elektrik üretim, tüketim, ihracat ve ithalat verileri (EPDK, 2021)

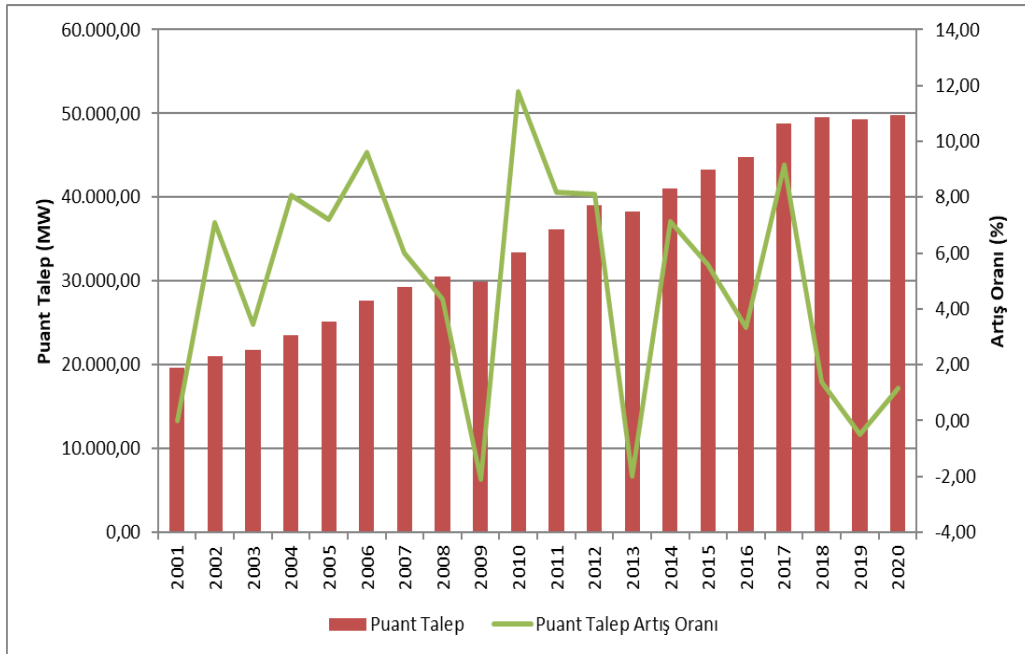
Bir elektrik santralının bir elektrik şebekesinin maksimum kapasitesini karşılayabilmesi veya taşıyabilmesi, kurulu güç olarak adlandırılır. Lisanslı kapasite, ilgili devlet yetkilileri tarafından lisanslanan fiili kapasiteyi temsil eder. Fiili üretim başlamadan önce, devlet yetkilileri, kuruluştaki mevcut tesislerin denetlenmesinin ardından kazanılması gereken kapasiteyi beyan etmelidir. Lisanssız kapasite, ülkemizde enerji kaynaklarının ve enerjinin verimliliğini artırmak için yasal düzenlemelerle gerçek veya tüzel kişilerin kendi enerjilerini üretme hakkına sahip olmaları olarak tanımlanabilir. Kendi enerjisini üretme hakkına sahip olan gerçek veya tüzel kişiler, herhangi bir lisans alma veya farklı bir şirket kurma yükümlülüğü yoktur.

Şekil 1.1 elektriğin yıllara göre talep ve artış oranını göstermektedir. Elektrik talebi 2009 yılından itibaren istikrarlı bir şekilde artmakta, ancak 2011'den 2013'e ve 2017'den 2019'a artış hızında diğer yıllara göre azalma görülmektedir. 2020 yılında %1 artış olmuştur.

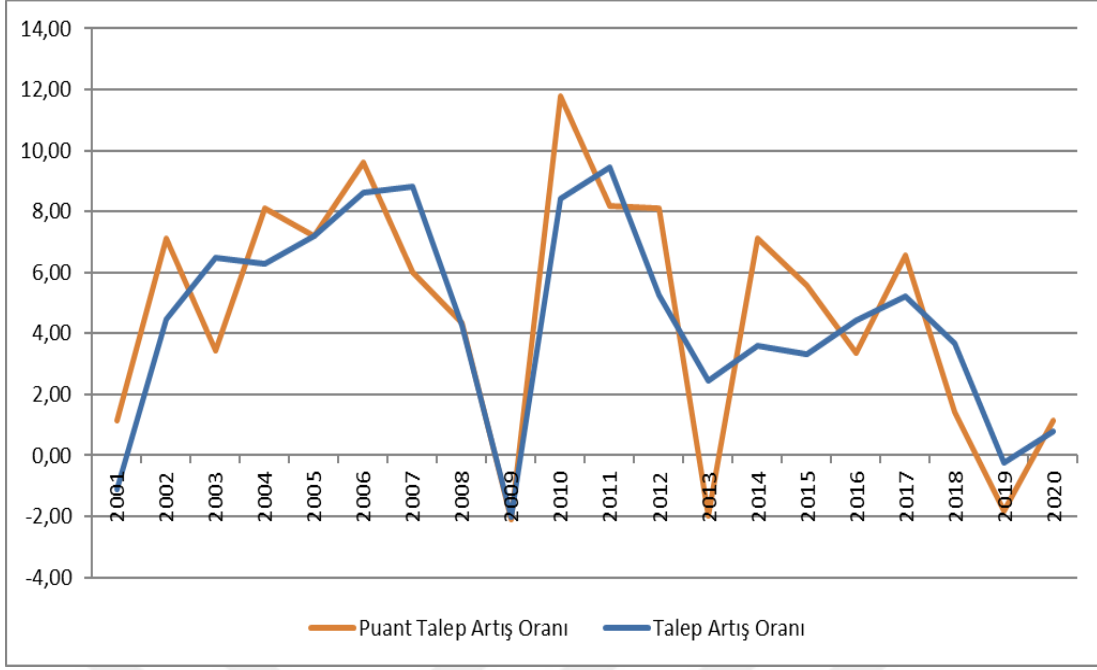


Şekil 1.1. Elektrik enerjisi talebi ve yıllara göre artış oranı(GWh-%) (EPDK, 2021)

Türkiye'de tüketicilerin günlük elektrik tüketimi gece, gündüz ve puant olmak üzere üç kez ölçülmekte ve faturalandırılmaktadır. Puant talep, tüketim oranının en yoğun olduğu saatler (17.00-22.00 arası)'da harcanan elektrik tarifesi olarak tanımlanabilir. Şekil 1.2'ye göre, tepe talepteki değişim, genel olarak enerji talebine benzer. 2020 yılında puant talepteki artış %1 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 1.2, 2001 ile 2020 yılları arasındaki puant talep ile elektrik talebi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 1.3'e göre elektrik enerjisi talebi ve puant talep artış oranları birbirine yakın çıkmıştır. En yüksek talep oranı %12 ile 2010 yılında, en düşük oranlar ise %2 ile 2009, 2013 ve 2019 yıllarında gerçekleşmiştir.

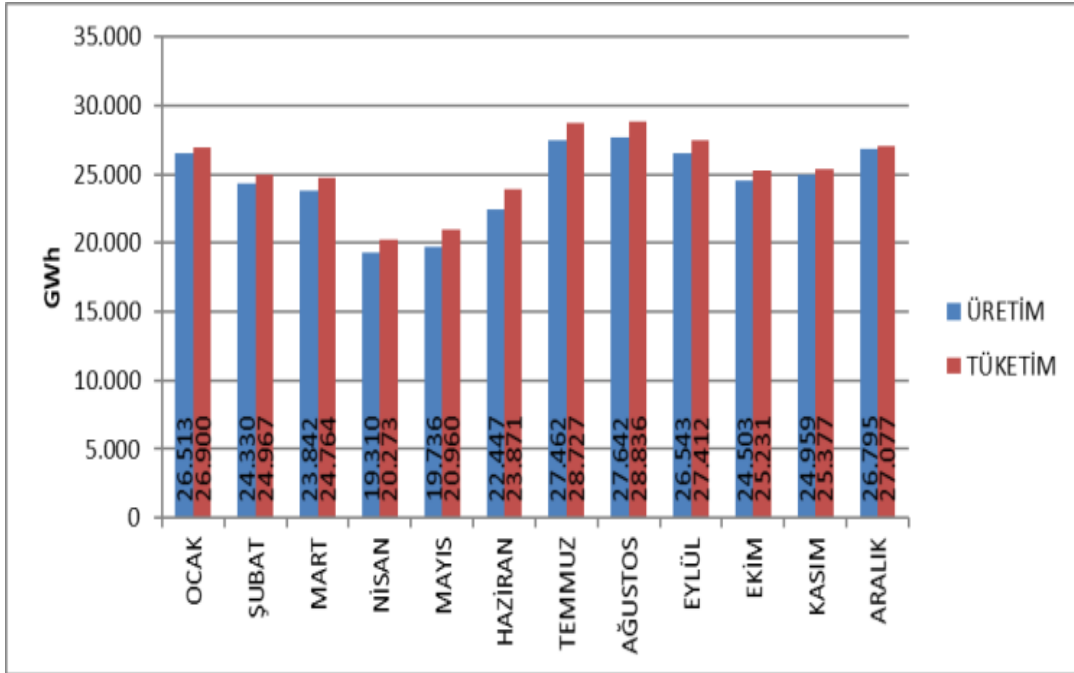


Şekil 1.2. Yıllara göre puant talep ve puant talep artış oranı(MW-%) (EPDK, 2021)



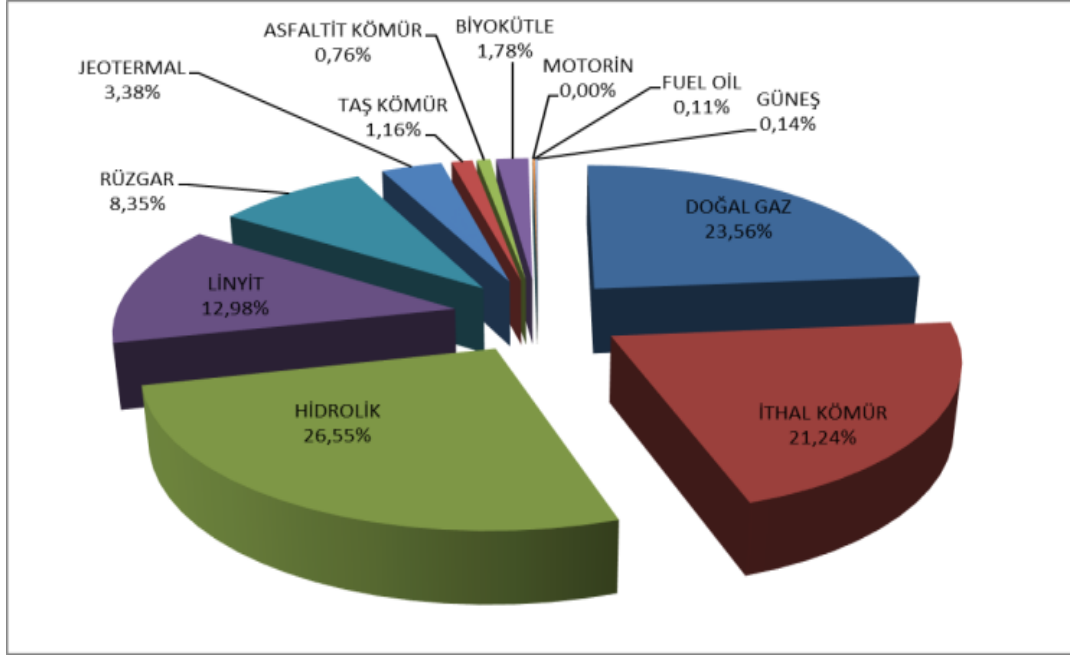
Şekil 1.1: Yıllara göre Elektrik Enerjisi Talebi ve Puant Talep Artış Oranları (%) (EPDK, 2021)

Şekil 1.4 lisanslı elektrik üretimi ve elektrik tüketimindeki aylık değişimi göstermektedir. Şekil 1.4'te görüldüğü gibi aylık üretim ve tüketimde en yüksek değerlere Temmuz ve Ağustos aylarında ulaşılmış ve her iki ay için yaklaşık olarak aynı değerler ölçülmüştür. Ancak aylık üretim ve tüketimin en düşük değerlerine Nisan ve Mayıs aylarında ulaşılmış ve her iki ay için de yaklaşık olarak aynı değerler ölçülmüştür.



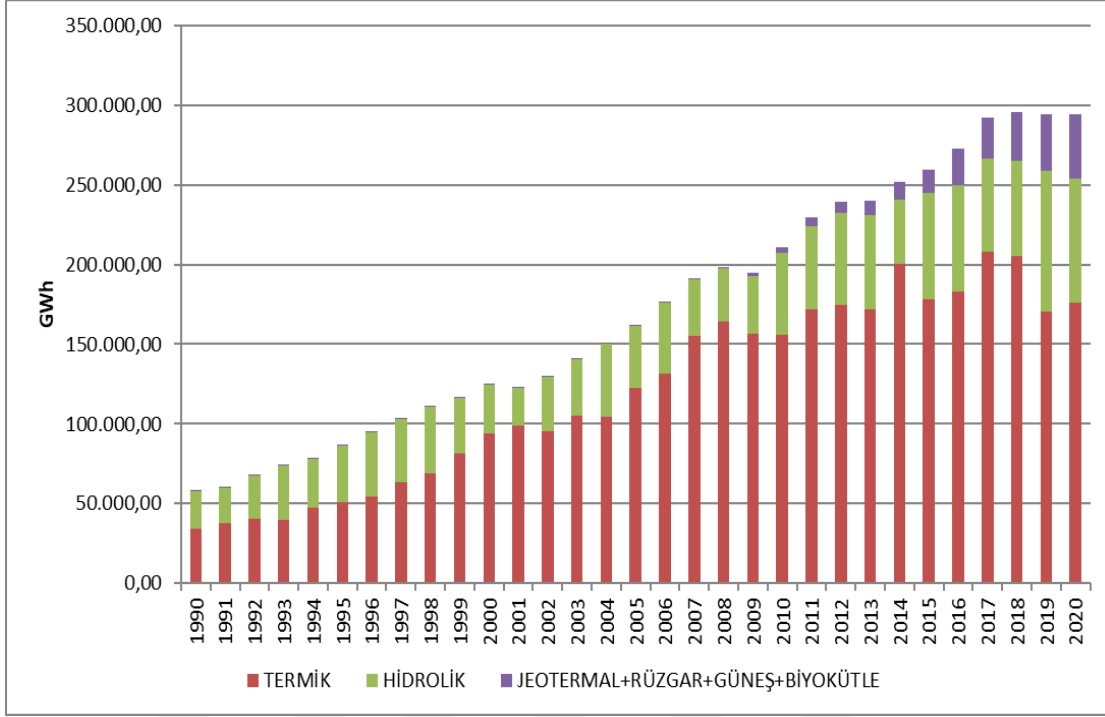
Şekil 1.2: 2020 Yılında Lisanslı Elektrik Üretim ve Tüketimin Aylık Dağılımı (GWh) (EPDK, 2021)

Türkiye'de lisanslı elektrik üretimi kaynaklara göre dağılım Şekil 1.5'te verilmektedir. 2016 yılında lisanslı elektrik üretimi doğalgaz yakıtlı santrallerin payı yüzde 32,16, rüzgar santrallerinin payı yüzde 5,69 ve jeotermal santrallerin payı yüzde 1,77 oldu. 2016 yılı ile karşılaştırıldığında, 2020 yılında doğalgaz yakıtlı santrallerin, rüzgar santrallerinin ve jeotermal santrallerin payı sırasıyla yüzde 23.56, yüzde 8.35 ve yüzde 3.38'e yükseldi. (EPDK, 2021).



Şekil 1.5: 2020 Yılı Lisanslı Elektrik Üretimi Kaynaklara Göre Dağılım (%) (EPDK, 2021)

Şekil 1.6, kaynaklar bazında 1990'dan 2020'ye kadar lisanslı elektrik üretiminin gelişimini göstermektedir. Şekil 1.6'dan da görüleceği üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının (jeotermal, rüzgar, güneş ve biyokütle) elektrik üretimindeki payında artış göstermektedir. Özellikle 2009 öncesi yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı %0'a yakın olup, bu yıldan itibaren istikrarlı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 1.6. 1990-2020 yılları arasında kaynağa göre lisanslı elektrik üretimi (GWh)
(EPDK, 2021)

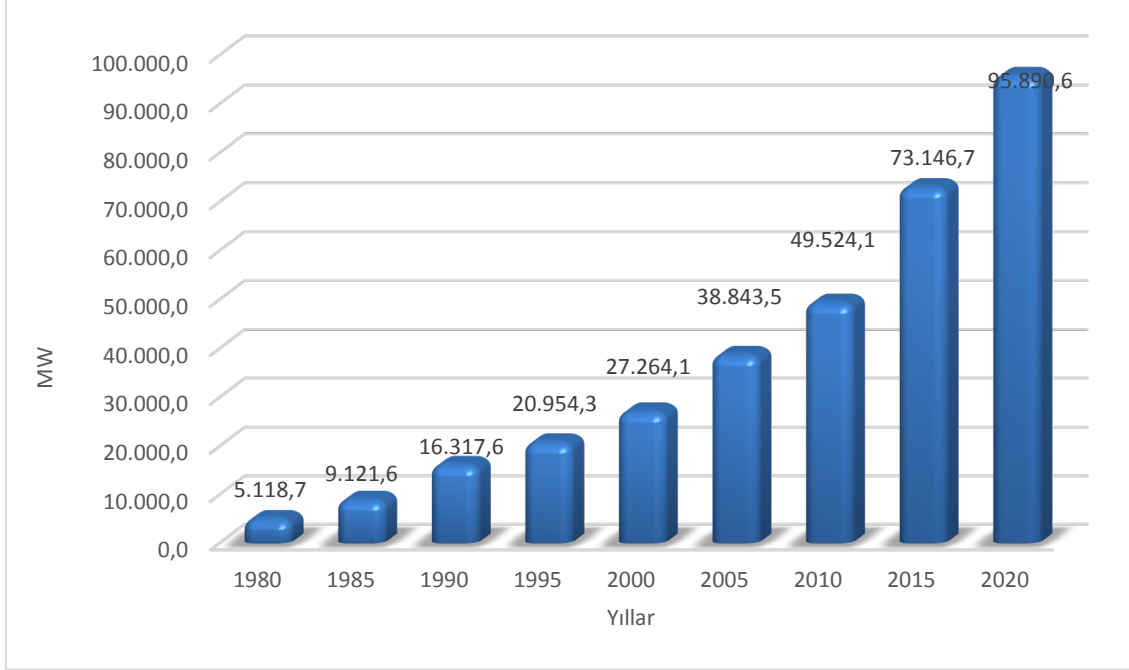
2017 yılında lisanslı elektrik üretiminin en fazla ve en az olduğu iller Tablo 1.3'te gösterilmiştir. Tablo 1.3'e göre en yüksek elektrik üretimi %8,91, %7,18, %6,41, %4,98, %4,46, %4,40 ile sırasıyla Çanakkale, Zonguldak, Adana, Hatay, Balıkesir ve İzmir'de gerçekleşti. En düşük elektrik üretimi ise %0'a yakın oranlara sahip Bayburt, Niğde, Iğdır, Aksaray, Çankırı ve Bartın illerinde gerçekleşmiştir.

İL ADI	Üretim (GWh)	Oran (%)
ÇANAKKALE	26.207,92	8,91
ZONGULDAK	21.114,63	7,18
ADANA	18.864,62	6,41
HATAY	14.646,79	4,98
BALIKESİR	13.105,13	4,46
İZMİR	12.940,77	4,40
Son 6 İl		
BAYBURT	74,87	0,03
NİĞDE	73,73	0,03
IĞDIR	59,15	0,02
AKSARAY	52,42	0,02
ÇANKIRI	29,67	0,01
BARTIN	28,50	0,01

İL ADI	Üretim (GWh)	Oran (%)
Genel Toplam	294.084,73	100,00

Tablo 1.3: 2020 yılı Lisanslı Elektrik Üretiminin İl Bazında Dağılımı (GWh-%)(EPDK, 2021)

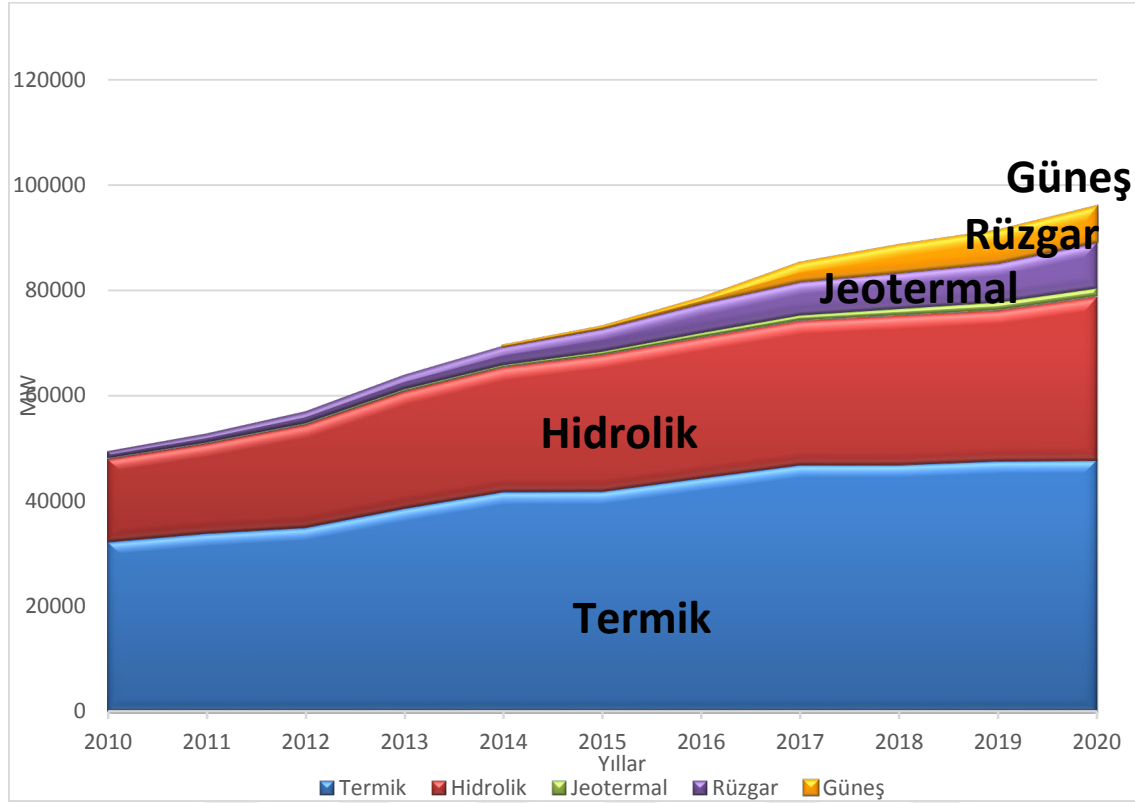
Şekil 1.7'den de görüleceği üzere Türkiye'nin kurulu gücü 1980 yılından itibaren istikrarlı bir şekilde artmıştır. 1980 yılında 5.118,70 MW olan kurulu güç, yaklaşık 19 kat artarak 2020 yılında 95.890,60 MW'a ulaşmıştır. En büyük artış Beş yıllık dönemler içerisinde incelendiğinde kurulu güçte 2010-2015 ve 2015-2020 yılları arasında olduğu görülmektedir. Bu durum, Türkiye'nin kaynaklarını en verimli şekilde kullandığını ve yeni enerji kaynaklarını devreye aldığını göstermektedir.



Şekil 1.7. Türkiye kurulu gücünün yıllık gelişimi (TEİAŞ, 2021)

2010-2020 yılları arasında Türkiye'nin kurulu gücü birincil enerji kaynakla göre gelişimi Şekil 1.8'de gösterilmektedir. Şekil 1.8'e göre termal, hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş olmak üzere beş birincil enerji kaynağı gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi termal enerji en büyük paya sahipken, jeotermal enerji en az paya sahiptir. 2010 yılında %65,18 paya sahip olan termal enerji, 2020 yılında %49,84'e gerilemiştir. Hidrolik enerjinin payının değişim oranı çok düşüktür, %31,97'den %32,31'e yükselmiştir. Rüzgar enerjisinin payı %2,67'den %9,21'e yükselerek radikal bir artış göstermiştir. 2010 yılında

güneş enerjisi verisi bulunmamasıyla birlikte 2020 yılında birincil enerji kaynaklarında oranı %6,95 olarak gerçekleşmiştir.

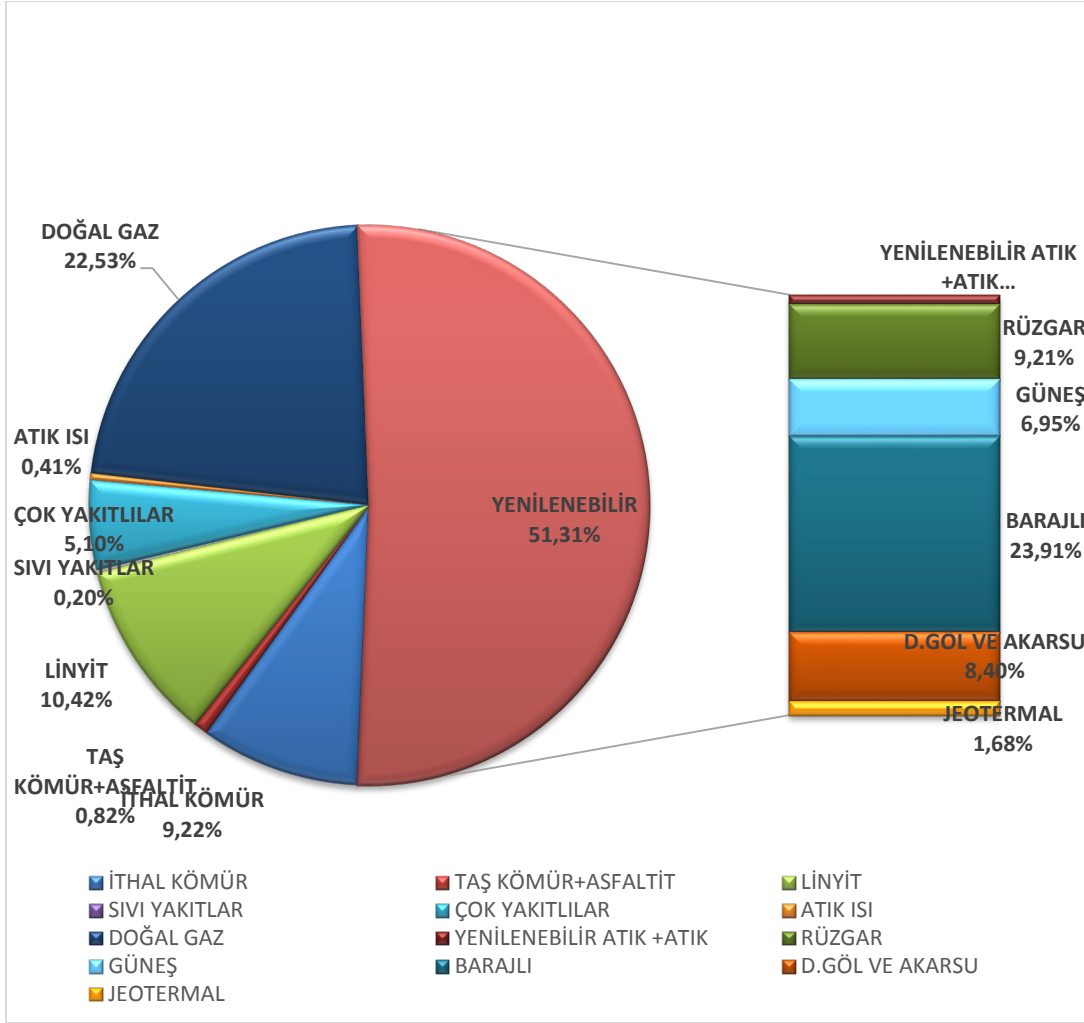


Şekil 1.8. Türkiye'nin kurulu gücü birincil enerji kaynakla göre gelişim süreci (2010-2020) (TEİAŞ, 2021)

Birim : MW						
	Termik	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Toplam
2010	32.278,5	15.831,2	94,2	1.320,2	0,0	49.524,1
%	65,18	31,97	0,19	2,67	-	100,00
2020	47.793,7	30.983,9	1.613,2	8.832,4	6.667,4	95.890,6
%	49,84	32,31	1,68	9,21	6,95	100,00

Tablo 1.4. 2010-2020 yılları arasında Türkiye'nin birincil enerji kaynaklara göre kurulu enerji kapasitesinin gelişimi (TEİAŞ, 2021)

Şekil 1.9, 2020 yılında Türkiye kurulu gücü birincil enerji kaynakla göre dağılımını göstermektedir. Birincil enerji kaynakları arasında en büyük pay 49.202,2 MW (%51,3) ile yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları kendi içinde incelendiğinde en büyük paya 22.925,0 MW (%23,91) ile barajlar sahiptir. Bu oranı %8,40 ile göl ve nehirler, %9,21 ile rüzgar ve %6,95 ile güneş takip etmektedir. Kurulu güçte ikinci büyük birincil enerji kaynağı 21.599,4 MW (%22,53) ile doğalgazdır.



Şekil 1.9. 2020 yılı Türkiye kurulu gücü birincil enerji kaynakla göre dağılımı (MW)
(TEİAŞ, 2021)

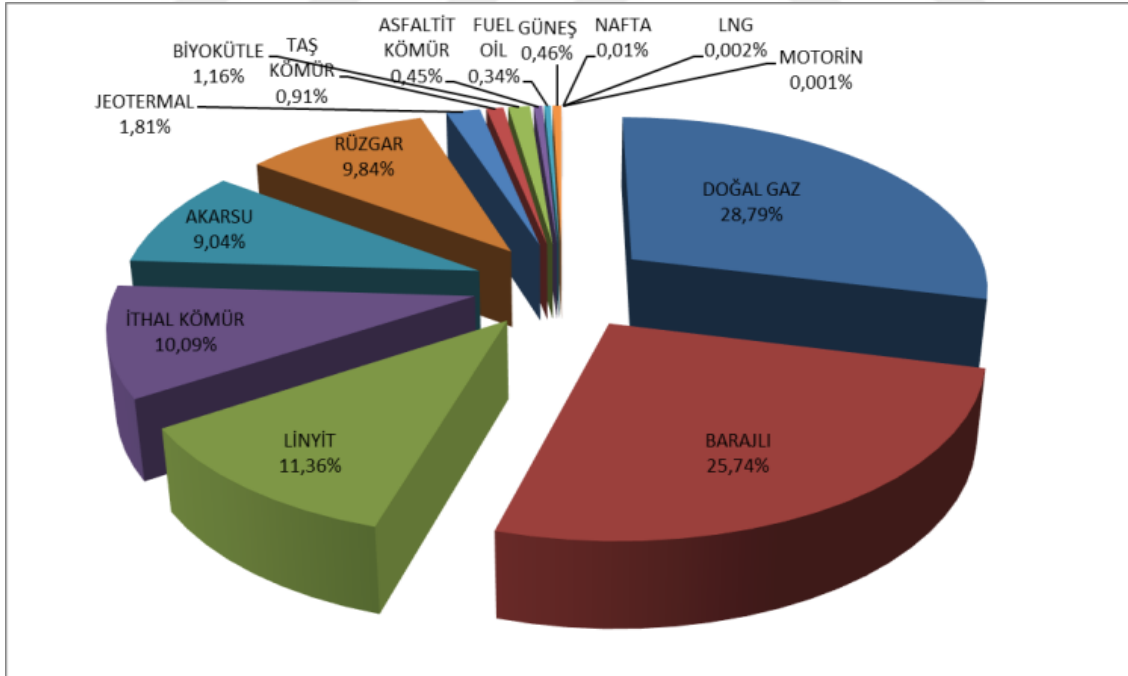
Yenilenebilir enerji, doğadan olan ve sürekli kendini yenileyebilen enerji kaynağıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları, dünyada ve doğada çoğunlukla herhangi bir üretim süreci olmaksızın elde edilebilen bir enerji türüdür, fosil olmayan kaynaklardır, CO₂ emisyonları düşük düzeyde gerçekleşir ve çevresel zarar ve etkileri geleneksel enerji kaynaklarına göre çok daha düşüktür. Bu nedenle Türkiye'de son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları, toplam kurulu güç içerisindeki payı giderek artmaktadır.

Yenilenebilir enerjinin kurulu güç içindeki oranı istikrarlı bir şekilde artmakta olup, 2007 yılına kadar %32,5 iken 2020 yılında %51,17. Bu oranda en büyük pay sahibi 23.91 MW ile hidrolik enerjidir. Hidrolik enerjiyi, Şekil 1.9'te görüldüğü gibi sırasıyla rüzgar ve güneş enerjisi takip etmektedir. Türkiye'nin kurulu güç ve üretiminin 1993-2017 yılları arasındaki gelişimi toplam kurulu güç istikrarlı bir şekilde artarken bazı yıllarda elektrik üretimi azalmıştır. Elektrik üretimi 2001 ve 2009 yıllarında bir önceki yıla göre azalmıştır.

Elektrik üretiminde en büyük pay sahibi, kurulu güce benzer hidrolik ve termik santrallerdir.

Brüt elektrik üretimindeki aylık değişimi en yüksek değerlerine Temmuz ve Ağustos aylarında ulaşılmakta ve her iki ay yaklaşık aynı değerler ölçülmektedir. Ancak aylık üretimin en düşük değerlerine Şubat, Nisan ve Haziran aylarında ulaşılmakta ve yaklaşık aynı değerler ölçülmektedir. Elektrik üretiminde en büyük pay sahipleri hidrolik ve termik santrallerdir. (TEİAŞ, 2021)

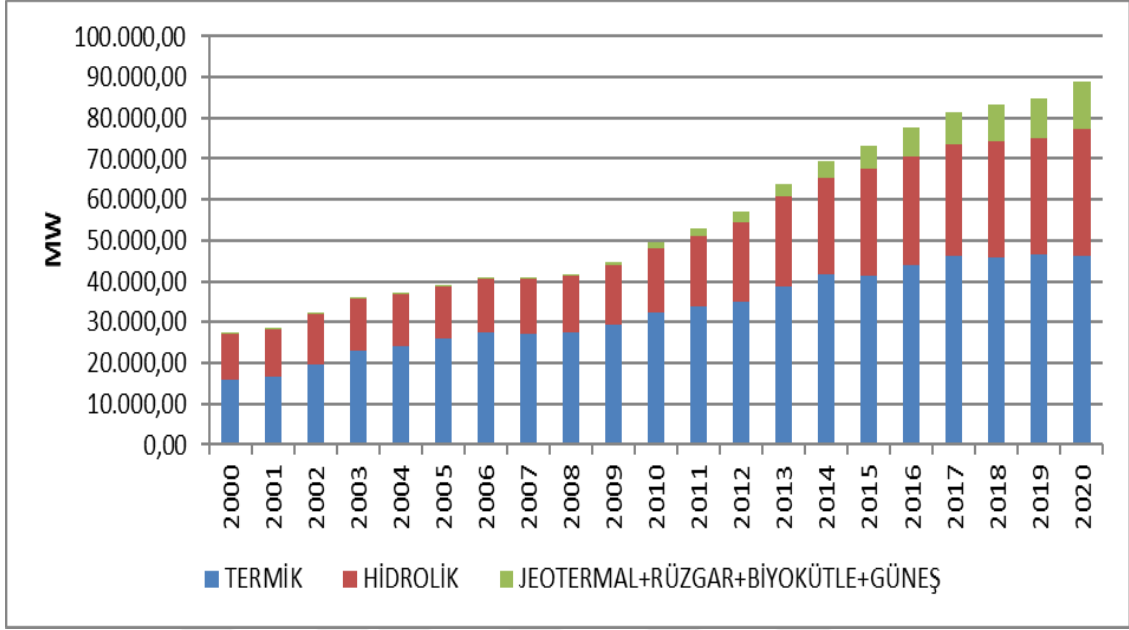
Şekil 1.10, lisanslı gücün yakıt türüne göre dağılımını göstermektedir. 2016 yılında toplam lisanslı kurulu güçte doğalgaz santrallerinin oranı %28,79, baraj-hidroelektrik santrallerin oranı %25,74, linyit santrallerinin oranı ise 11,36 oldu. İthal kömüre dayalı santrallerin oranı %10,09, akarsu-hidroelektrik santrallerin oranı %9,04, rüzgar santrallerinin oranı %9,84 ve jeotermal santrallerin oranı %1,81 olarak gerçekleşti. 2016 yılına göre 2020 yılında doğalgaz santralleri, baraj-hidroelektrik santralleri, linyit santrallerinin payı sırasıyla %32,29, %24,21 ve %11,36'ya gerilerken, ithal kömür santralleri, nehir hidroelektrik santralleri, rüzgar santralleri ve jeotermal santraller 2020 yılında sırasıyla %10,96, %9,22, %7,95 ve %1,30 seviyeleri oranında artmıştır. (EPDK, 2021).



Şekil 1.10. 2020 Yılında Lisanslı Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı (%)

Şekil 1.11, kaynaklar bazında 1990'dan 2020'ye kadar lisanslı kurulu kapasitenin gelişimini göstermektedir. Şekil 1.11'den de görüleceği üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının (jeotermal, rüzgar, güneş ve biyokütle) elektrik üretiminde payı yıldan

yıla artmıştır. Özellikle 2009 öncesi yenilenebilir enerji kaynaklarının oranı %0'a yakın olup, bu yıldan itibaren istikrarlı bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 1.11. Yıllara Göre Lisanslı Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Gelişimi (MW)

2020 yılında lisanslı kurulu gücün en az ve en fazla olduğu iller Tablo 1.8'de gösterilmiştir. Tablo 1.8'e göre en yüksek kurulu güç sırasıyla %6, %4,94, %4,85, %4,14, 3,85 ile İzmir, Kahramanmaraş, Çanakkale, Adana, Şanlıurfa, en düşük kurulu güç sırasıyla %0,03, %0,03, %0,02, %0,01, %0,01 ile Bayburt, Iğdır, Bartın, Çankırı, Ağrı sahiptir.

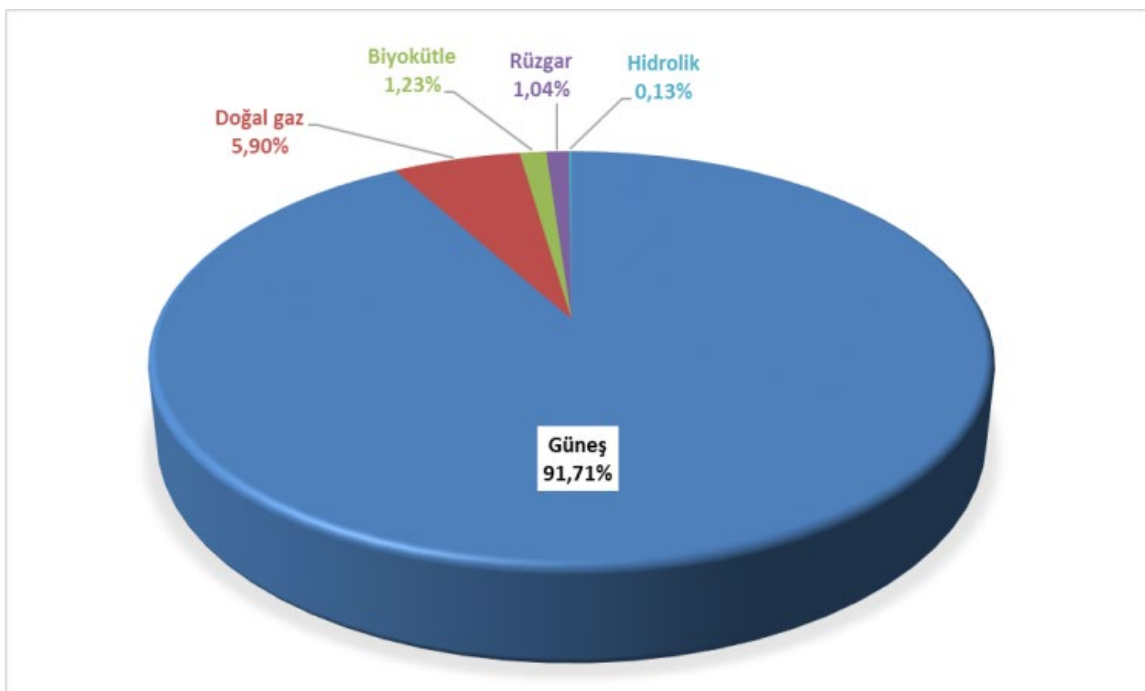
İL ADI	Kurulu Güç (MW)	Oran (%)
İZMİR	5.347,66	6,00
KAHRAMAN MARAŞ	4.397,79	4,94
ÇANAKKALE	4.319,28	4,85
ADANA	3.686,76	4,14
ŞANLIURFA	3.430,36	3,85
Son 5 İl		
BAYBURT	27,26	0,03
IĞDIR	23,79	0,03
BARTIN	20,06	0,02
ÇANKIRI	12,81	0,01
AĞRI	10,91	0,01
Genel Toplam	89.067,14	100,00

Tablo 1.5. Lisanslı Kurulu Gücün İllere Göre Dağılımı (MW-%)(EPDK,2021)

2019 yılında lisanssız kurulu gücün toplam elektrik üretimi 6.309,27 MW olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin %92,33'ü fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinden elde edilmektedir. 2020 yılında bu üretim 6.823,47 MW'a ulaşmıştır. 2019 yılında olduğu gibi en büyük oran %91,71 ile fotovoltaik güneş enerjisi santrallerine ait olup, onu %5,90 ile doğalgaz ve %1,23 ile biyokütle takip etmektedir. 2019 yılına kıyasla fotovoltaik güneş enerjisi, rüzgar ve hidrolik santrallerinin oranı azalırken, biyokütle ve diğer kaynakların oranı arttı.(Tablo 1.6)

Kaynak Türü	2019		2020	
	Kurulu Güç (MWe)	Oran (%)	Kurulu Güç (MWe)	Oran (%)
Güneş	5.825,46	92,33	6.257,61	91,71
Doğal gaz	328,66	5,21	402,67	5,90
Biyokütle	75,67	1,20	83,71	1,23
Rüzgar	70,83	1,12	70,83	1,04
Hidrolik	8,65	0,14	8,65	0,13
Genel Toplam	6.309,27	100,00	6.823,47	100,00

Tablo 1.6. Lisanssız Kurulu Güç Kaynak Bazında Dağılımı (MWe-%)(EPDK, 2021)



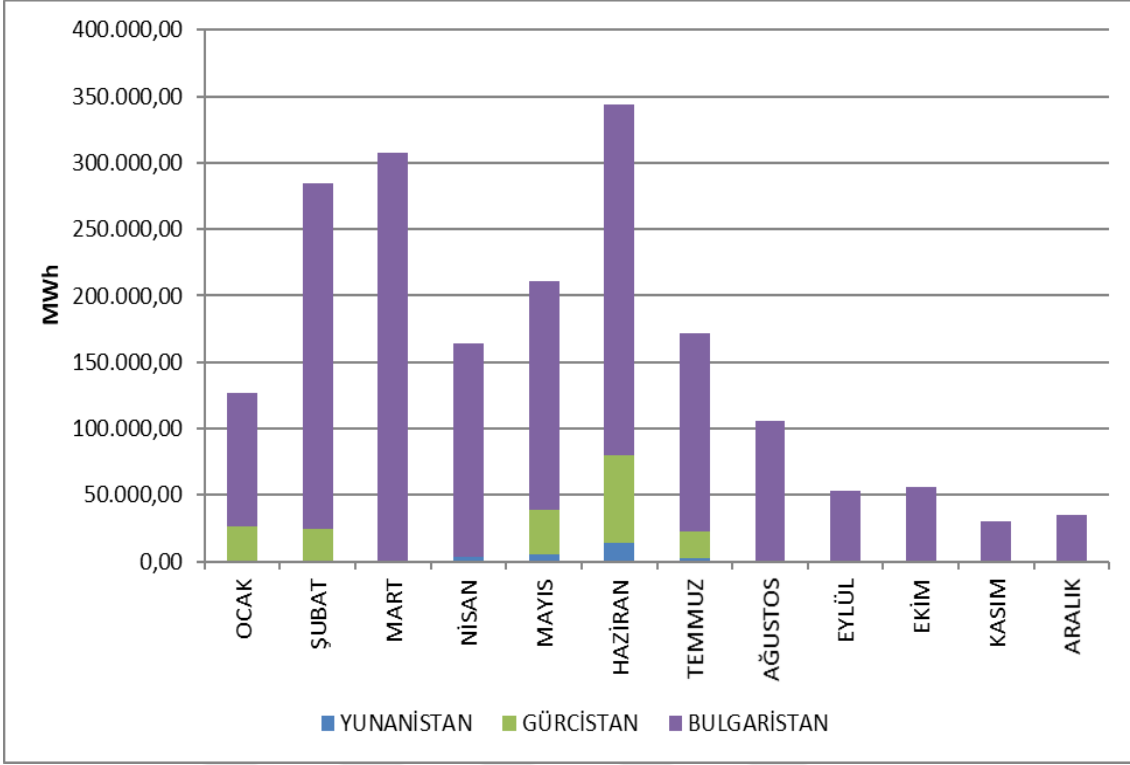
Şekil 1.12. 2020 Yılında Lisanssız Kurulu Gücün Kaynak Bazında Dağılımı(%) (EPDK, 2021)

2020 yılında lisanssız kurulu gücün en fazla ve en az olduğu iller Tablo 1.7'de gösterilmiştir. 2019 yılına göre ilk beşte yer alan iller incelendiğinde Konya, Ankara ve İzmir'in oranları artarken diğer illerin oranları azaldı. En düşük lisanssız kurulu güç oranları 2020 yılında 2019 yılına göre azaldı.

İLLER	2019		2020	
	Kurulu Güç (MWe)	Toplam İçindeki Payı (%)	Kurulu Güç (MWe)	Toplam İçindeki Payı (%)
KONYA	503,19	7,98	548,36	8,04
ANKARA	362,29	5,74	404,76	5,93
ŞANLIURFA	341,99	5,42	368,72	5,40
KAYSERİ	317,72	5,04	329,85	4,83
İZMİR	274,75	4,35	309,34	4,53
KAHRAMANMARAŞ	220,19	3,49	243,96	3,58
Son 5 İl				
RİZE	1,59	0,03	1,59	0,02
TUNCELİ	0,86	0,01	0,86	0,01
GÜMÜŞHANE	0,80	0,01	0,80	0,01
IĞDIR	0,50	0,01	0,50	0,01
SİNOP	0,00	0,00	0,46	0,01
Genel Toplam	6.309,27	100,00	6.823,47	100,00

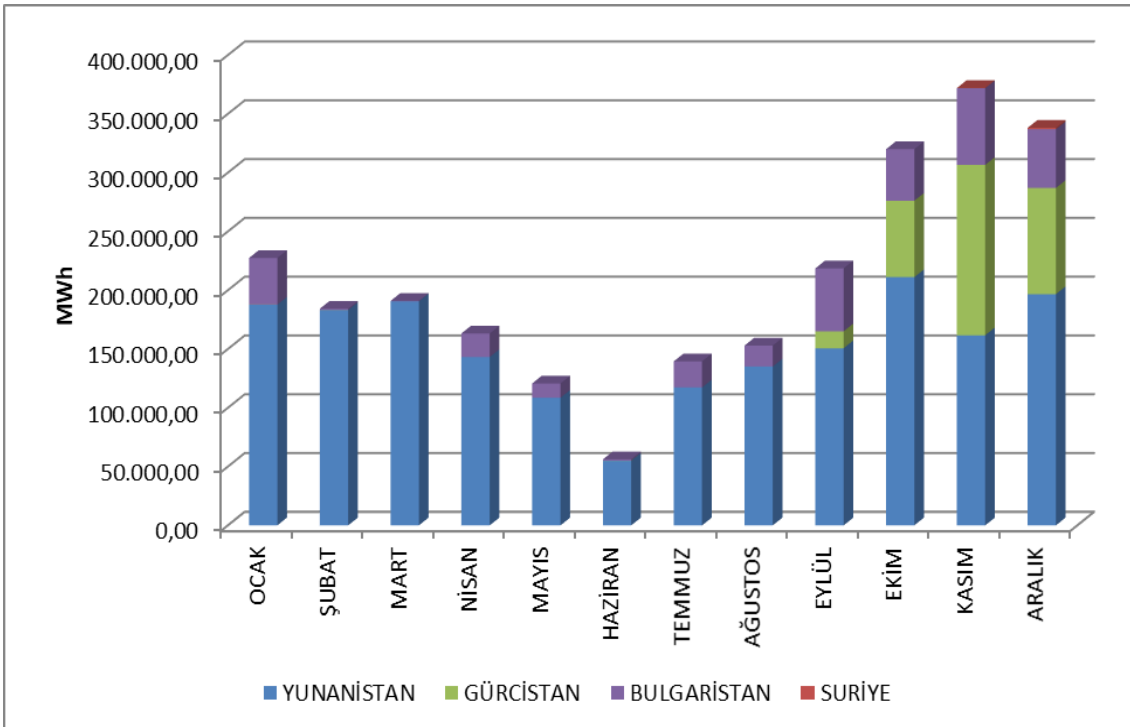
Tablo 1.7. Lisanssız Elektrik Üretiminin İllere Göre Dağılımı (MWh-%) (EPDK, 2021)

2020 yılı elektrik ithalatına ilişkin aylar itibarıyla veriler Şekil 1.14'te gösterilmektedir. Aylık olarak en yüksek elektrik ithalatı Haziranda, en düşük elektrik ithalatı ise Kasımda gerçekleştirilmiştir. 2020 yılında toplam 2.729.060,87 MWh elektrik ithalatı gerçekleştirilmiştir. Bu ithalatın %90,02'si Bulgaristan, %8,08'i Gürcistan, %1,90'i Yunanistan'dan yapılmıştır (EPDK, 2021).



Şekil 1.13. 2020 Yılı Aylar İtibariyle Elektrik İthalatı (MWh) (EPDK, 2021)

2020 yılı elektrik ihracatına ilişkin aylar itibarıyla veriler Şekil 1.14'te gösterilmektedir. Aylık olarak en yüksek elektrik ithalatı Kasım'da ve Aralık'ta, en düşük ise Haziranda gerçekleştirilmiştir. 2020 yılında toplam 3.300.096,20 MWh elektrik ithalatı gerçekleştirilmiştir. Bu ithalatın %82,97'si Yunanistan, %17,03'ü Gürcistan Bulgaristan ve Suriye'ye yapılmıştır (EPDK, 2021).



Şekil 1.14. 2020 Yılı Aylar İtibariyle Elektrik İhracatı (MWh) (EPDK, 2021)

Tablo 1.11, YEK Destek Mekanizması santrallerin yıllara göre sayısını göstermektedir. Santral sayısı ve kurulu güç artışı 2014 yılından itibaren istikrarlı bir şekilde artmaktadır. 2020 yılında toplam santral sayısı 2011 yılına göre yaklaşık 41 kat artarak 821'e ulaşmıştır. YEK Destekleme Mekanizması kapsamı faaliyet gösteren toplamdaki kurulu güç 21.146,1 MW olmuştur. Bu kurulu gücün kaynak türüne göre dağılımı incelendiğinde, hidrolik santrallerin 12.434,7 MW ile en büyük pay sahip olduğu, ikinci sırada ise 6,440 MW ile rüzgarın geldiği görülmektedir. (Tablo 1.8) (EPDK, 2021).

Türü	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Güneş	-	-	-	-	-	-	2	3	9	17
Hidrolik	4	44	14	40	126	388	418	447	463	463
Rüzgar	9	22	3	21	60	106	141	151	160	165
Biyokütle	3	8	15	23	34	42	57	70	100	126
Jeotermal	4	4	6	9	14	20	29	37	45	50
Genel Toplam	20	78	38	93	234	556	647	708	777	821

Tablo 1.8. Yıllara Göre Lisanslı YEKDEM Santral Sayısı (Adet) (EPDK,2021)

Türü	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Güneş	-	-	-	-	-	-	12,9	13,9	81,7	162,7
Hidrolik	21	930	217	598	2.116,3	9.960,0	11.096,3	11.706,4	12.588,5	12.434,7
Rüzgar	469	685	76	825	2.732,1	4.319,8	5.238,7	6.200,0	6.495,6	6.440,0
Jeotermal	72	72	140	228	389,9	599,2	752,1	996,8	1.252,7	1.437,5
Biyokütle	45	73	101	147	185,2	203,7	300,0	349,2	503,1	671,2
Genel Toplam	608	1.760	534	1.798	5.423,6	15.082,7	17.399,9	19.266,3	20.921,5	21.146,1

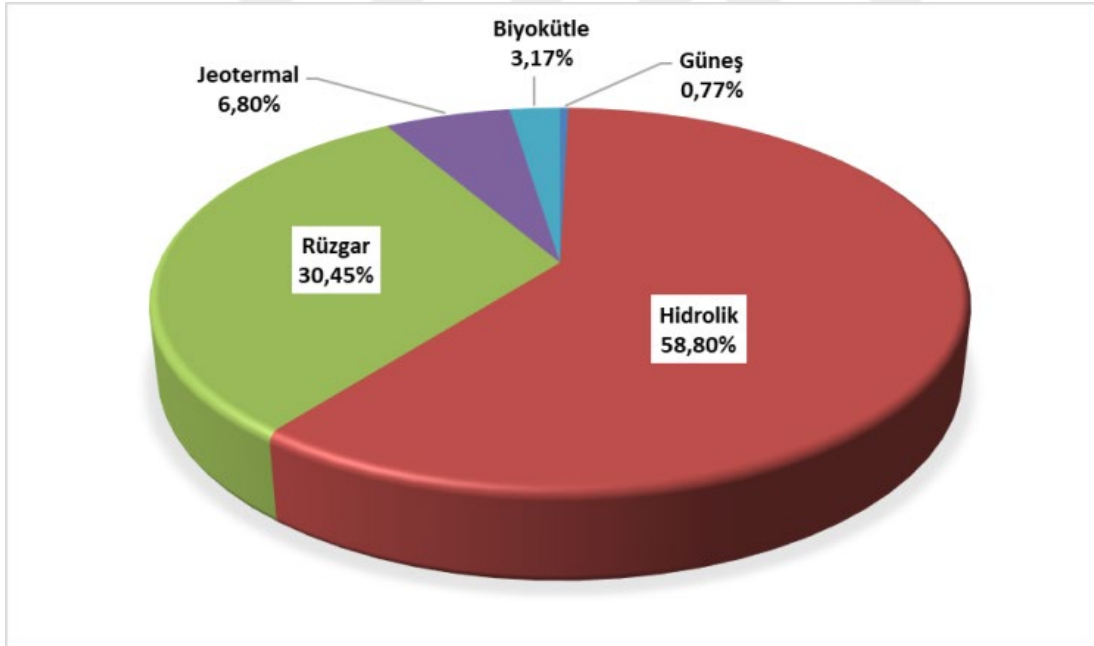
Tablo 1.9. YEK Destekleme Mekanizması katılımcılarının yıllara göre kurulu gücü (EPDK, 2021)

YEK Destekleme Mekanizması kapsamında yıllık üretim miktarlarının gelişimi Tablo 1.10'da gösterilmektedir. Lisanssız tesislerin üretim miktarları bir önceki yıla göre yaklaşık %4,3 azalarak 73,482 TWh'e düştü. Elektrik üretimi kaynaklar bazında

değerlendirildiğinde ise %41,32 ile en yüksek paya hidrolik santraller, %27,18 ile rüzgar santralleri ikinci büyük paya sahipken, %5,07 ile biyokütle sahiptir. (Tablo 1.10, Şekil 1.16).

Türü	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Güneş	-	-	-	-	24.269	39.140	159.961	375.476
Lisanssız	884	29.31 6	223.537	1.134.02 3	2.997.55 1	8.078.41 8	9.830.84 9	11.229.7 23
Hidrolik	528.4 27	1.072 .832	5.651.21 5	16.212.7 17	17.213.3 94	27.369.7 27	36.961.8 86	29.671.0 21
Rüzgar	223.2 43	2.378 .819	8.275.99 2	14.163.4 02	16.765.4 18	19.002.8 63	19.900.9 73	20.658.7 97
Jeotermal	857.5 27	1.436 .579	2.710.85 6	3.706.76 4	4.503.34 5	5.968.20 2	6.997.20 9	7.816.50 9
Biyokütle	750.7 15	957.2 23	1.082.91 3	10.613.5 94	8.992.79 2	2.047.08 2	2.817.20 9	3.730.69 9
Genel Toplam	2.360. 795	5.874 .769	17.944.5 14	45.830.5 02	50.496.7 69	62.505.4 31	76.668.0 87	73.482.2 27

Tablo 1.10. Yıllara Göre YEKDEM Katılımcıların Yıllık Üretim Miktarları (MWh)*
(EPDK, 2021)



Şekil 1.15. 2020 Yılı YEKDEM Kurulu Gücünün Kaynaklara Dağılımı (%) (EPDK, 2021)

2.MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Biyokütle Enerji Dönüşüm Prosesleri

Fosil yakıtların hızla tükenmesine ve bu yakıtların tüketilmesiyle oluşan çevresel kirliliği ile alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmuştur. Biyokütle, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi ve jeotermal enerjiden gelen enerji, şu anda araştırılmakta olan en umut verici alternatiflerden bazılarıdır. Bunlar arasında biyokütle, farklı enerji biçimlerinin üretilmesi için kullanılabilir bol, yenilenebilir ve nispeten temiz bir enerji kaynağıdır. Biyokütlenin termokimyasal, biyokimyasal ve biyoteknolojik yöntemlere ayrılabilen farklı enerji biçimlerine (ısı, elektrik ve kimyasal enerji) dönüştürülmesi için bir dizi yöntemler bulunmaktadır.

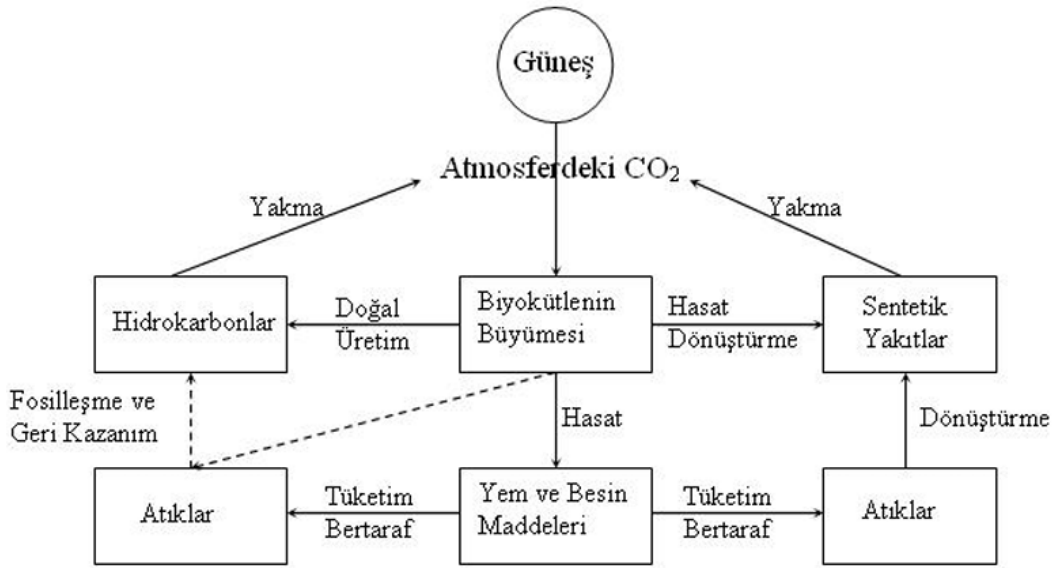
Mevcut yakıt/enerji kaynağı, tüm pratik amaçlar için yenilenemez olarak kabul edilebilecek fosil yakıttır. Fosil yakıtların tamamı petrol türevleridir ve bu fosil yakıtların kullanımı CO₂, CH₄, N₂O gibi sera gazlarının oluşumuna yol açar. Ulaşım sektörü, tüm sektörler arasında sera gazı emisyonlarında en yüksek büyüme oranına sahiptir. Fosil yakıtın hızla tükenmesi konusundaki mevcut endişe, devam eden fosil kaynaklarının fiyat artışı ve yakın gelecekte tükenebilir olması ile birlikte küresel ısınma gibi çevresel kaygılar, yenilenebilir enerji kullanılarak alternatif enerji üretimi araçları üretmeye yönelik araştırma çabalarını ilerletmiştir. Bu sorunun çözümü biyoenerji, yani biyokütleden üretilen enerji şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Biyokütle yenilenebilir tek organik kaynaktır. Aynı zamanda en bol kaynaklardan biridir, tüm biyolojik materyalleri içerir ve büyük bir enerji deposudur. Ölü biyokütle veya biyolojik atık; ısı ve elektrik gibi doğrudan bir enerji kaynağı veya çeşitli yakıt türleri gibi dolaylı bir enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Canlı biyokütle veya bunların mikroorganizmalar, algler ve enzimler gibi bileşenleri, biyoyakıt hücreleri kullanılarak bir enerji formunu diğerine dönüştürmek için kullanılabilir. Biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi sürecinde, enerji üretimi ve çevresel temizlik olarak iki amaç vardır.

Güneş ışığı bu dünyada sonsuz miktarda bir enerji kaynağıdır ve prensip olarak bu gezegendeki tüm enerji yenilenebilirdir. Bununla birlikte, zaman dilimi faktörü göz önüne alındığında, petrol, kömür ve doğal gaz gibi mevcut enerji kaynaklarının yenilenmesi binlerce yıl almaktadır. Bu nedenle, enerji üretimi alanındaki araştırmaların, güneş ışığını kullanılabilir enerjiye dönüştürmek için gereken süreyi kısaltarak bu zaman dilimini azaltmaya odaklanması zorunludur. Biyokütle mükemmel bir yenilenebilir enerji

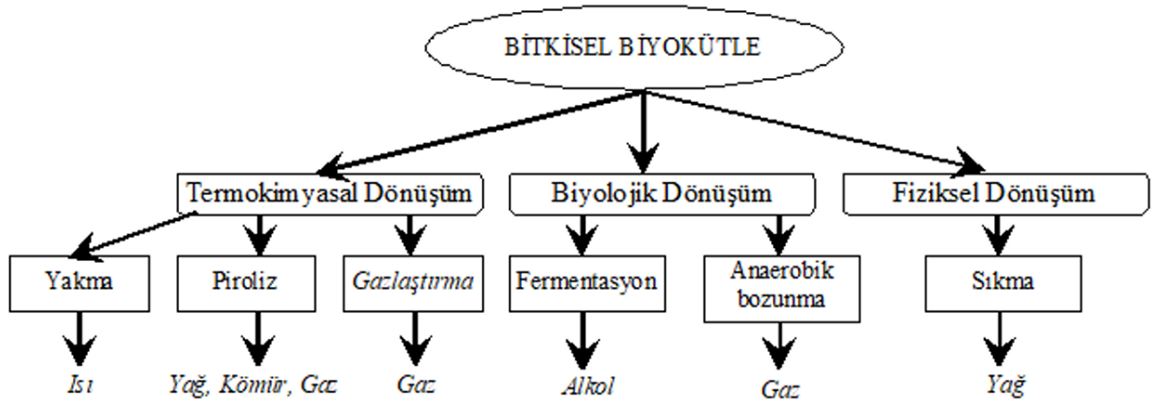
kaynağıdır ve etkili bir karbon havuzu görevi görür. Biyokütleyi oluşturan bitkiler ve ağaçlar, enerjiyi güneş ışığından sürekli olarak çekebilen ve fotosentez yoluyla karbon açısından zengin bileşiklere dönüştürebilen sürekli güç merkezleri olarak düşünülebilir. Biyokütleyi oluşturan bu karbon açısından zengin bileşikler daha sonra güneş ışığından yakalanan enerjiyi serbest bırakmak için gerektiği zaman ve istifade edilebilir (Şekil 1.2).

Biyokütlenin yakılması sonucu atmosfere salınan karbonun, tekrar enerjiye dönüşmesi için karbon bakımından zengin bileşiklere dönüştürülmesi fotosentez yoluyla olur.



Şekil 2.1. Biyokütle enerji teknolojisi temel özellikleri(Şensöz, 2016)

Biyokütlenin enerji dönüşümünde olan mevcut teknolojisi en fazla karbon nötrdür, ancak yıllarca fosil yakıt kullanımı sonucunda atmosferde mevcut olan CO₂ miktarı o kadar yüksektir ki, geleneksel olarak yani ağaç ve toprak gibi etmenler tarafından absorbe edilmesi yetersizdir. Dolayısıyla, doğada karbon negatif olan enerji üretim teknolojileri ile küresel CO₂ emisyonlarını azaltmak için ciddi bir ihtiyaç söz konusudur. Yaygın olarak "Biyoenjerji ile Karbon Yakalama ve Depolama" (BECCS) olarak adlandırılan bu teknolojilerin küresel bir net negatif karbon emisyonu sistemi yaratma hedefine ulaşması bekleniyor. Bu karbon tutma ve depolama (CCS) teknolojisi, CO₂'nin atmosfere salınmasını engellemeye ve jeolojik depolama yerlerine yönlendirmeye hizmet eder. Karbon negatifliği elde etmenin benzer bir alternatifi, yüksek solar verimli ekime dayalı yakıtlar olan dördüncü nesil yakıtlarda yatmaktadır.(Singh vd., 2016)



Şekil 2.2 Biyokütlenin farklı enerji formlarına dönüşümü(Topal vd. 2011)

Biyokütle, farklı enerji formları üretmek için kullanılabilir (Şekil 2.2). Biyokütle enerji yoğunluğu açısından düşüktür. Biyokütle; Char kömürü, sıvı yakıtlar (özellikle nakliye yakıtları), hidrojen, veya biyogaz gibi yakıtlara dönüştürülerek enerji yoğunluğu yükseltilebilir.

Birinci nesil biyoyakıtlar zaten ticari olarak üretilmektedir ve üretimleri için yerleşik bir teknoloji mevcuttur. Bununla birlikte, birinci nesil biyoyakıtlarla ilgili en büyük sorun, üretiminin büyük ölçüde gıda ve yem amaçlı kullanılacak biyokütle hammaddesine bağlı olmasıdır. Bu gıda ve yakıt tartışması tartışması, yem dışı ürünler, orman kalıntıları, tarımsal, endüstriyel ve evsel atıklardan üretilen ikinci nesil biyoyakıtların gelişmesine neden oldu. İkinci nesil biyoyakıtlar esas olarak termokimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle üretilmektedir. Termokimyasal yöntemler, birkaç yıl içinde kurulan teknolojilere dayandığı için ticarileştirmeye daha uygundur. Biyokimyasal yöntemler henüz ticarileştirilmemiştir, ancak bu yöntemlerin maliyet azaltma potansiyeli daha yüksektir. Optimizasyonlarına yönelik araştırma çabaları halen devam etmektedir ve yakında birinci nesil biyoyakıtlara ticari, düşük maliyetli alternatiflerle sonuçlanabilir.(Yang vd., 2010)

İkinci nesil biyoyakıtlar gıda-yakıt tartışmasını atlatabilse de, üretimleri için gerekli olan hammadde üretimi için hala ekilebilir arazilere ihtiyaç duyuyorlar. Bu nedenle, aksi halde gıda mahsullerinin yetiştirilmesinde kullanılacak arazi gerekli olacaktır. Bu, yosunlardan ve alglerden üretilen biyoyakıtlar gibi üçüncü nesil biyoyakıtların gelişmesinin önünü açtı. Bu alg biyokütlesi, bataklık arazilerde, deniz suyunda ve tarımsal ürünlerin yetiştirilmesinde tamamen verimsiz olan topraklarda gelişebilir. Alglerden biyoyakıt üreten başarılı teknolojileri ortaya çıkarmak için ortak çabalar sürmektedir.(Yang vd., 2010)

Dördüncü nesil biyoyakıtlar hala kavramsal bir aşamadır ve bu tür biyoyakıtların gerçeğe dönüşmesi için daha uzun yıllar gerekebilir. Bu biyoyakıtlar, biyokütleyi yakıtta

veya kullanımına bağılı olarak üretilen CO₂'den daha fazla olacak şekilde biyokütle yakıtına dönüştürebilen teknolojiler tarafından üretilmektedir. Bu nedenle, bu biyoyakıtlar atmosferik sera gazı azaltımlarında etkili olacak, böylece küresel ısınma sorununu önemli ölçüde azaltacaktır. Birinci nesil biyoyakıtlar dışındaki yakıtların üretimi için teknolojiler henüz fosil yakıtlara ticari olarak uygun alternatifler olduğunu kanıtlamamaktadır ve çeşitli gelişim aşamaları altındadır(Yang vd., 2010).

Biyokütlenin enerji üretimi için fosil yakıtı alternatif olarak kullanılmasıyla ilgili önemli bir husus, biyokütlerde bulunan yüksek seviyedeki uçucu bileşenlerden dolayı fosil yakıtlara kıyasla yüksek bir uçuculuğa sahip olmasıdır. Bu, biyokütlenin kömür gibi fosil yakıtın ateşleme sıcaklığını azaltır. Bununla birlikte, biyokütle çok daha az karbon ve daha fazla oksijen içerir. Oksijenin varlığı moleküllerin ısı içeriğini azaltır ve yüksek polarite sağlar, bu nedenle biyokütlenin enerji verimliliği kömürden daha düşüktür.

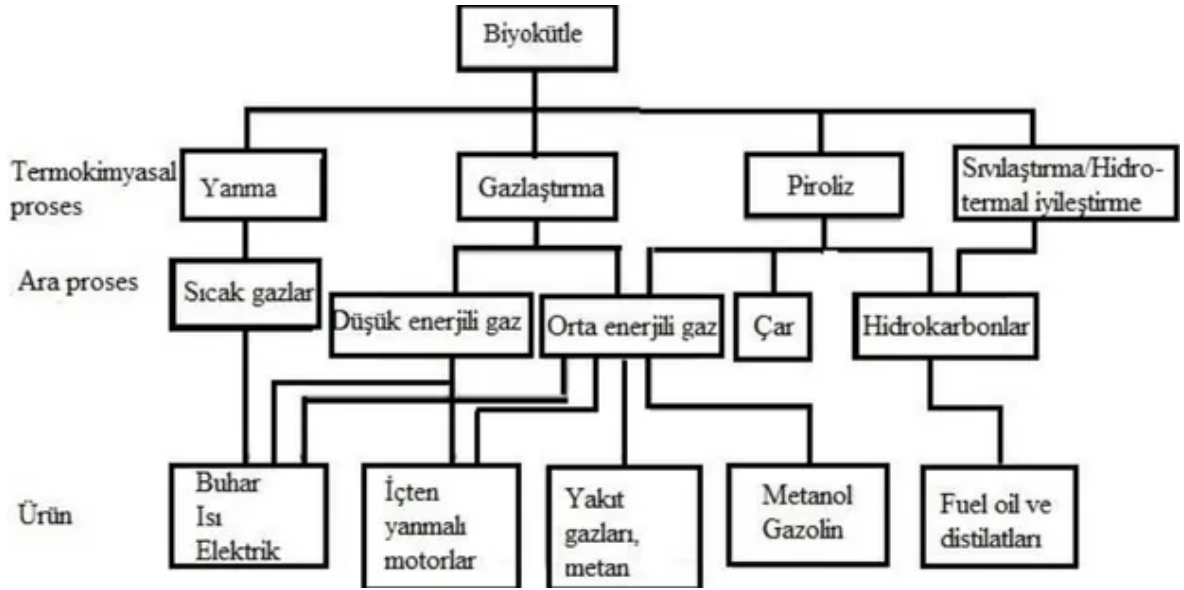
Biyokütlenin daha düşük bir ısıtma değerine sahip olmasına rağmen, özellikle emisyon sorunları, biyokütlenin CO₂, NO_x, SO_x emisyonu, biyokütlenin düşük karbon, kükürt ve azot içeriği kömürden çok daha azdır.

Biyokütle dönüşüm teknolojileri genel olarak birincil dönüşüm teknolojileri ve ikincil dönüşüm teknolojileri olarak sınıflandırılabilir. Yanma, gazlaştırma ve piroliz gibi birincil dönüşüm teknolojileri, biyokütlenin doğrudan ısıya veya metan ve hidrojen gibi gazlar, metanol ve etanol gibi sıvı yakıtlar gibi bir enerji taşıyıcı olarak işlev görebilen daha uygun bir forma dönüştürülmesini içerir. İkincil teknolojiler, bu birincil dönüşüm ürünlerini, ulaşım yakıtı gibi bir enerji ürünü veya elektrik gibi bir enerji ürünü biçime dönüştürür.

Bu süreçler biyokütlenin yüksek sıcaklık ve bazen de yüksek basınçlı işlenmesini içerir. Isı ve/veya güç üretimi için yanma işlemi, biyokütlenin fazla oksijen varlığında ısıtılmasını içerir. Yakma işlemi dünyanın biyoenerji üretiminin %97'sine tekabül eder. Torrefaksiyon, piroliz ve gazlaştırma gibi diğer işlemler, sıvı yakıtlar, ısı ve güç üretmek için sınırlı veya kontrollü oksijen varlığında ısıtmayı içerir.(Guo vd., 2015)

Biyokütlenin termokimyasal olarak işlenmesi gaz, sıvı ve katı formlarda enerji ürünleri verir. Üretilen gaz öncelikle karbon monoksit, karbon dioksit, metan, hidrojen ve azot gibi bazı katışıkları içerir. Bu gaza yakıt olarak kullanılabilen metanol veya metan gibi daha değerli ve/veya faydalı ürünlere sentez gazı denir. Sıvı ürün, uçucu bileşenler ve uçucu olmayan katranlardan oluşan, esasen zararlı ve oldukça kompleks oksijenli organik kimyasallar karışımı içerir. Katı kül, karbon veya kömür içerir.

Biyokütlenin termal/termokimyasal dönüştürme işlemleri için uygunluğu ve bu biyokütle dönüştürme işlemleri sonucunda elde edilen ürünler büyük ölçüde kullanılan biyokütlenin bileşimine ve özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle biyokütlenin fizikokimyasal karakterizasyonu, biyokütle dönüşümünde önemli bir adımdır. Bu partikül büyüklüğü ve kütle yoğunluğunun belirlenmesini içerir; uçucu madde, nem içeriği, kül içeriği tayini, sabit karbon gibi analizler; karbon, hidrojen ve oksijen içeriğinin belirlenmesi gibi nihai analiz; kül deformasyonu ve füzyon sıcaklığının belirlenmesi; kalorifik değer; biyokütle bileşimi; denge ve doygunluk nem içeriği; ve biyokütle piroliz karakteristikleri buna örnektir.



Şekil 2.3 Biyokütle dönüşümünde termokimyasal prosesler(Doğan vd., 2000.)

2.1.1. Doğrudan Yanma

Yanma süreci yakıt, enerji ve çevre arasında bir etkileşim olarak düşünülebilir. Isı üretmek için yakıt, fazla havada yakılır. Fazla hava, yakıt ve oksijen arasında kimyasal bir reaksiyon başlatan bir oksijen kaynağı olarak işlev görür ve bunun sonucunda enerji serbest kalır. Yanıcı gazlar biyokütleden buharlaşır daha sonra alev olarak yanar. Bu uçucu bozunma ürünü üç fraksiyondan oluşur: CO, CO₂, bazı hidrokarbonlar ve H₂ içeren gazlı fraksiyon; su, aldehidler, ketonlar ve alkoller gibi düşük molekül ağırlıklı organik bileşiklerden oluşan yoğunlaştırılabilir bir fraksiyon; ve daha yüksek moleküler ağırlıklı şeker kalıntıları, furan türevleri ve fenolik bileşikler içeren katran fraksiyonudur. Bu uçucu ve tortu oranı termal analiz yöntemleri ile belirlenir. Kalan artık malzeme daha sonra daha fazla hava ilave edildiğinde yakılan karbon kömürüdür. Seçilen biyokütle örnekleri bazı

önemli yanma özelliklerini verir. Yanma işlemi, elektrik üretiminde ısı üretimine veya ikincil dönüşüm işlemlerini kullanarak sonuçlanabilir.

Küçük ev ocağı, yanma sürecinin enerji / ısı üretmek için kullanılmasının en basit örneğidir. Bununla birlikte, salınan uçucu yağların çoğu ısı ile birlikte çevreye girdikçe bu işlem sadece % 10-15 verimliliğe sahiptir. Daha fazla verimlilik sağlamak için daha sofistike yanma teknolojileri geliştirilmiştir. Daha verimli odun sobası tasarımlarının kullanılması,% 60'a kadar çok daha fazla verimlilik sağlar. Yanma teknolojileri başlangıçta kömür veya fosil yakıttan enerji üretimi için tasarlanmıştır. Bununla birlikte, fosil yakıtın hızla tükenmesi ve yenilenebilir enerji kaynağı arayışı, bu teknolojileri enerji üretimi için fosil yakıtlar yerine biyokütle kullanımına yönelik tüm çabaları yönlendirmiştir(Aybek, 2015).

Aslında biyokütlenin doğası fosil yakıtlardan farklı olmasından kaynaklanır. Ayrıca, biyokütlenin bileşimi kaynağına bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Doğrudan yanma fırınına beslenen biyokütle, ilk olarak uçucu ve fosil yakıtlara kıyasla tamamen farklı yanma özellikleri ile yanan bir karbonlu kömür karışımına dönüştürülür. Herhangi bir yanma işlemi için ΔH 'nin yanma ısısı standart denklem temelinde hesaplanır:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Burada G serbest enerjidir, H entalpidir, T mutlak sıcaklıktır ve S entropidir. Bu denklem biyokütle için kullanılırken, entropi değişikliği veya katı yakıtı gaz yanma ürünlerine dönüştürmede kaybedilen enerji de dahil edilmelidir. Bu düzeltme faktörü, kullanılan biyokütlenin özelliklerine bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. Yanma işlemi için yakıt olarak biyokütle kullanıldığında, işlemin verimliliğini ve işlemde elde edilebilecek net kullanılabilir enerjiyi düşürmekten sorumlu bir dizi faktör vardır. Önemli faktörlerden bazıları, biyokütlenin değişken doğası, biyokütlerde bulunan değişken nem içeriği ve kül içeriği, yanma ısısının bir kısmının biyokütlenin yanma ürünleri tarafından dağıtılması ve biyokütlenin eksik yanmasıdır. Biyokütlerdeki nem içeriği, saman gibi tarımsal artıklarda% 10-12 arası nem içerirken, odun artıkları yaklaşık % 50'ye kadar nem içerir. Bu nem içeriği bir soğutucu görevi görür ve doğrudan yanma için kullanılmadan önce kurutulması gerekir. Bunun için gereken ekstra enerji, sürecin net enerji çıkışını azaltacaktır. Bu nedenle yanma işlemi, nem içeriği% 50'den düşük olan biyokütle için en uygun yöntemdir. Bundan daha yüksek nem içeriği içeren biyokütle biyokimyasal / biyolojik dönüşüm süreçleri için daha uygundur. Biyokütlerde bulunan uçucu madde ve sabit karbon oranı da kaynağına bağlı olarak değişir. Yumuşak ağaçlar yaklaşık % 76.6 oranında uçucu madde içerirken, sert ağaçlar% 80.2 oranında uçucu madde içerir. Bu

değerlerle karşılaştırıldığında, bitümlü siyah kömür uçucu maddelerin sadece % 37.4'ünü içerir. Yanma işleminin çoğu uçucu fraksiyon ile karakterize edildiğinden, bu fark büyük önem taşımaktadır. Biyokütleden mineral içeriği odunsu biyokütleden % 0,5 ila tahıl samanlarında % 18 arasında değişir. Odun külü esas olarak karbonatlar, karboksilik asitler ve bazı silika kristalleri olarak bulunan alkali ve alkali toprak katyonlarından oluşur. Silika ve çözünmeyen organik bileşikler, bir ısı emici görevi görürken, çözünür organik bileşikler, biyokütlenin gazlaştırılması ve yanması üzerinde katalitik bir etkiye sahip olabilir. Biyokütlenin tam yanması, zararsız olan CO₂ ve suyu serbest bırakır. Bununla birlikte, eksik yanma karbonlu kalıntı (uçucu kül), duman ve çevreye zararlı olan diğer kokulu ve zararlı gazları (karbonil türevleri, doymamış bileşikler ve CO içerir) bırakır. Buna ek olarak, önemli miktarda biyokütle boşa harcanmaktadır.(Goyal vd., 2008)

2.1.1.1 Yanma şekilleri

Katı biyokütlenin doğrudan yanması buharlaşma yanması, ayrışma yanması, yüzey yanması ve için için yanma yoluyla gerçekleşir. Biyokütle içerisinde nispeten basit bir yapıya ve düşük bir füzyon sıcaklığına sahip bileşenler, ısıtıldığında kaynaşır ve buharlaşır ve gaz fazında oksijen ile reaksiyona girerek yanar. Buna buharlaşma yanması denir. Biyoküttelede bulunan ağır yağlar önce yanma sırasında karşılaşılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle ayrışır. Termal bozunmadan ısıtılarak üretilen gaz, gaz fazındaki oksijenle reaksiyona girer, alevlenir ve sonra yanar. Buna ayrışma yanması denir. Bu yanma formlarından sonra kalan kömür, yüzey yanmasıyla yanar. Alevsiz yanma, odun gibi reaktif yakıtların uçucu bileşenlerinin tutuşma sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta termal yanma reaksiyonudur. Sıcaklık tutuşma noktasını aşarsa, yanıcı yanma meydana gelir. Biyokütlenin endüstriyel doğrudan yanmasında, ayrışma yanması ve yüzey yanması ana yanma biçimleridir.

2.1.1.2. Yanma işlemi

Yanma işlemi dört temel aşamadan oluşur: ısıtma ve kurutma, uçucu gazların çıkması, bu uçucu gazların yanması ve artık sabit karbonun yanması. Gerçek yanma işleminden önce biyokütlenin yoğunluğunu arttırmak ve aynı zamanda nem içeriğini azaltmak için önce peletleme ve / veya briketlemeye tabi tutulur. Bu aynı zamanda biyokütlenin kalorifik değerini artırır ve taşıma ve işleme sırasında biyokütlenin kolay kullanımını artırır. Aşağıdaki adımlar biyokütlenin peletlenmesinde rol oynar:

1. Kurutma; Biyokütle, peletleştirmeden önce yaklaşık% 8-12 (ağırlık bazında) nem içeriğine kadar kurutulur.

2. Frezeleme; Biyokütlenin boyut küçültülmesi çekiçli değirmenlerde yapılır.

3. Şartlandırma; Biyokütlenin kondisyonu buhar ilave edilerek yapılır, burada parçacıklar yapışmayı arttırmak için ince bir sıvı tabaka ile kaplanır.

4. Peletleme; Malzemeyi kompakt peletlere dönüştürmek için düz kalıp veya halka kalıp peletleyicileri kullanılır.

5. Soğutma; Yoğunlaştırma işlemi sırasında peletlerin sıcaklığı artar. Bu nedenle, peletlerin yüksek dayanıklılığını sağlamak için peletler baskıdan ayrılmadan önce peletlerin dikkatli bir şekilde soğutulması gerekir(Ganesh,2001).

Peletleme, biyokütlenin ağır hizmet ekstruderlerinde katı silindirlere sıkıştırıldığı ve ekstrüde edildiği briketlemeye kıyasla pahalıdır. Peletlenmiş veya briketlenmiş biyokütle, bitki hücrelerini parçalayan ısıya maruz bırakılır. Uçucu madde, sıkıştırılmış biyokütleden uzaklaştırılır ve doğrudan atmosfere salınmak yerine, ikincil hava varlığında yüksek bir sıcaklık bölgesinden (630 °C'nin üzerinde) geçmesi sağlanır. Burada gazlar yanar ve daha fazla ısı yayar. Mineral bileşenleri içeren char adı verilen karbonlu bir kalıntı geride bırakılır.

Briketleme veya peletleme işleminden sonra, biyokütle yanma fırınına beslenir, ardından yanma dört aşamada ilerler:

Adım 1: Isıtma ve kurutma: Biyokütle içindeki nem, toplam ağırlığın (ıslak baz)% 10 ila% 50'si arasında değişir. Bu nem biyokütlenin kuru ısı değerini düşürür ve ısıtma ve kurutma işlemini yavaşlatır. Bu nedenle, yanma işleminin etkinliğini arttırmak için bu nemin giderilmesi önemlidir. Besleme parçacıklarının boyutu da önemlidir, çünkü çoğu biyokütle doğada odunsu ve ahşap zayıf bir ısı iletkenidir. Partikül boyutu ne kadar büyük olursa, besleme yatağından ısı iletim hızı o kadar düşük olur. Bu nedenle biyokütle, besleme parçacığının merkezinden yüzeye olan maksimum mesafenin 20-30 mm'yi aşmaması için boyut olarak küçültülür. Bu nedenle, talaş, kıyılmış saman gibi toz haline getirilmiş biyokütle yakıtları tercih edilir.

Adım 2: Uçucuların damıtılması: Nemin buharlaşması tamamlandıktan sonra, sağlanan ısı biyoküttelede bulunan sıvı bileşenlerin uçucu hale getirilmesinde kullanılır. Bu 180°C ila 530 °C arasında gerçekleşir. Bu aşamada damıtma meydana gelir. Açığa çıkan gazlar parafin, fenoller, esterler ve yağ asitleri gibi kompleks doymuş ve doymamış organik bileşikler içerir. Bunlar farklı damıtma sıcaklıklarında damıtılır ve böylece " biyorafineri " kavramını mümkün kılar.

Adım 3: Uçucuların yanması: Uçucu hale getirilmiş bileşenlerin tutuşması 630°C ila 730 °C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleşir. Bu, uçucu gazlar ve oksijen arasında ekzotermik bir reaksiyon içerir, bunun sonucunda ısı üretilir ve CO₂ ve su buharı salınır. Bu fazdaki alev sıcaklığı mevcut aşırı hava miktarına ve biyokütlede başlangıçta mevcut olan nem miktarına bağlıdır (çünkü bu buharlaştırılmış nem, bu gaz fazında su buharı olarak bulunur). Burada, bu faz sırasında yüksek sıcaklıkları koruyacağı için ikincil hava kaynağı şeklinde aşırı oksijen tedariki önemlidir. Bunun yokluğunda, eksik yanma daha düşük proses verimliliği ile sonuçlanacaktır. Yanmamış karbonlu kısma is denir. Bu kurum fırının daha soğuk kısımlarında yoğunlaşan ve katran adı verilen yağlı bir ürün oluşturan uçucu bileşenleri emer.

Adım 4: Kalıntı sabit karbonun yanması nem ve uçucular giderildikten sonra, biyokütlenin sabit karbon bileşeni kömür olarak kalır. Bu kömür oksijen mevcut olduğu için yanmaya başlar ve oksijen varlığında CO₂'ye dönüşen karbon monoksit salınır. Bu CO₂ nihayetinde fırından yayılır(Ganesh,2001).

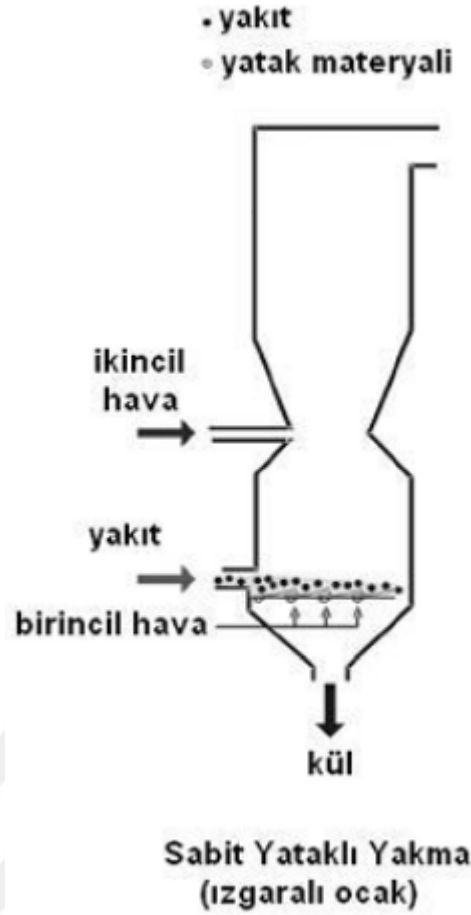
2.1.1.3. Yanma sistemi çeşitleri

Yanma sisteminin tasarımı, proseten optimum verim elde etmek için önemlidir. Yanma işlemi sırasında, fırın ve kazanın cüruflanması ve kirlenmesi meydana gelir. Biyokütle yüksek oranda alkali metal içerdiğinde bu daha ciddidir. Alkaliler yanma sırasında uçucu hale gelir ve alkali metal olarak yoğunlaşır.

Yanma ekipmanının tasarımı, minimum kirlenme meydana gelecek şekilde olmalıdır. Minimum kirlenme ile maksimum yanma verimi elde etmek amacıyla bir dizi farklı yanma sistemi tasarımı gelişmiştir.

2.1.1.3.1. Sabit yataklı yanma

Bu tip bir yanma sisteminde, biyokütle, bir fırının dibindeki ızgaralar üzerinde bir yatak şeklinde beslenir. Izgaralar eğimli veya yatay olabilir. Hava, yakıtın karıştırılmaması ve yakıt katılarının bağıl hareketi olmaması için ızgaradan (üzerinde yakıtın bulunduğu) sınırlı bir hızda geçirilir. Yakıtı beslemek için kullanılan stokerler, aşırı besleme stokerleri veya serpme stokerleri olabilir.



Şekil 2.4 Sabit Yataklı Yakma Sistem Dizaynı (Kulcu, 2010),

Aşırı beslemeli stokerler başlangıçta kömür ateşlemek için tasarlanmıştır. Bunlar yakıtı bir uçtaki hareketli ızgaraya yerçekimi ile besler. Izgara, yanma gerçekleştiğinde yakıtı birlikte taşıyarak yavaşça fırının içinden geçer. Kalan kül ve cüruf sürekli olarak diğer uçtan boşaltılır. Bu stokerler, ızgara hareket hızının, yakıt besleme hızının ve hava girişinin otomatik olarak ayarlanmasıyla ısı yük değişikliklerine duyarlı hale getirilebilir. Bu tip bir sistemin en büyük dezavantajı, ısıl bozulmadan korunmak için ızgarada bir kül tabakasının korunması gerektiğidir. Biyokütle külü, ızgaranın daha büyük bir aşınmasına neden olabilecek yüksek bir silika içeriğine sahip olabilir ve bu da ızgaranın daha yüksek bakım maliyetiyle sonuçlanır. Bu tip bir yanma tasarımının bir başka dezavantajı, baca gazında önemli miktarda uçucu kül ve yanmamış karbon olabilmesidir, bu da daha düşük yanma ve kazan verimliliği ve daha yüksek emisyon kontrol maliyetleri ile sonuçlanır.

2.1.1.3.2. Eğimli ızgara fırını

Bu, biyokütle yakma sistemlerinde kullanılan en yaygın tasarımdır. Biyokütle yakıtı, biyokütlenin ön kurutmasının yapıldığı fırının üst kısmına beslenir. Kurutulmuş

Tüm sistem atmosfer basıncında çalışabilir veya basınçlandırılabilir. Akışkanlaştırma için hava veya oksijen kullanılabilir.

Akışkan yataklı yanma sistemleri, sabit yataklı tasarım sistemlerine kıyasla çok daha verimlidir. Daha yüksek nem içeriği ve değişen kül özellikleri gibi değişken bileşimlere sahip çok çeşitli biyokütle, cüruf problemleriyle karşılaşmadan kullanılabilir. Tam kapasitenin % 35'ine kadar değişen çeşitli yükler yüklenebilir. Herhangi bir zamanda, sabit yatak tasarımına kıyasla, yanma odasında sadece küçük bir miktar yakıt bulunur, bu nedenle iyi dönüşüm verimliliği sağlar. Bununla birlikte, akışkan yataklı tasarımlar, sabit yataklı tasarımlara kıyasla maliyetlidir ve sadece büyük ölçekli operasyonlar için uygundur (Singh vd., 2016)

2.1.2. Piroliz

Piroliz, oksijen içermeyen, gaz ve sıvı ürünler üreten ve karbon açısından zengin bir kalıntı bırakan organik malzemelerin yüksek sıcaklıklarda termokimyasal bozunmasıdır. Her zaman biyokütlenin yanması ve gazlaştırılmasındaki ilk adımdır. İlk pirolizden sonra yeterli oksijen sağlanırsa, yanmaya veya gazlaştırmaya geçebilir. Pirolizden elde edilen sıvı ürünler su ve yağları içerirken, gaz halindeki ürünler karbon monoksit, karbon dioksit ve metan içerir. Geride kalan katı bir kalıntı karbonlu bir katı, yani kömürdür. Katı tortu, ısıtma için olduğu gibi kullanılabilir. Üretilen gaz bir gaz brülörü ile işlenebilir ve kısıtlı bir hava kaynağı altında pirolizör için bir ısı kaynağı olarak kullanılabilir veya elektrik üretimi için gaz türbinlerinde veya gaz kazanlarında kullanılabilir. Sıvı ürün olan biyo-yagın birden fazla kullanımı olabilir: ısıtma veya enerji üretimi için kullanılabilir veya nakliye yakıtına dönüştürülebilir veya uygun kimyasallara dönüştürmek için kullanılabilir. Şekil 1.9'da pirolizden elde edilebilen farklı enerji ürünleri / formları gösterilmektedir.



Şekil 2.6. pirolizden elde edilebilen farklı enerji ürünleri / formları (Şenol vd., 2017)

Piroliz ürünlerinden birinin sıvı bir ürün (yani biyo-yağ) olması, bu işlemi çok önemli hale getirir, çünkü sıvı yakıtların taşınması kolaydır ve bu nedenle dönüşüm tesisinin kullanım noktasından uzak olması mümkündür, bu yanma işleminde mümkün değildir. Piroliz yanma gibi ekzotermik bir süreç değildir. İşlem için ısı sağlanması gereken endotermik bir işlemdir. Kullanılan ısıya ve sıcaklığa bağlı olarak farklı tipte ürünlere neden olan farklı piroliz prosesleri mümkündür. Isıtma kütlesi biyokütlenin doğasına bağlı olduğundan, biyokütlenin doğası da büyük ölçüde piroliz verimini etkiler. Tipik olarak, odun, sap, saman vb. lignoselülozik malzemeler zayıf ısı iletkenleridir. Bu nedenle, bu malzemeler piroliz için kullanılmadan önce boyut küçültme gibi ön işlem gerektirir, böylece kabul edilebilir bir verim elde edilebilir. Daha düşük işlem sıcaklıkları ve daha uzun buhar kalış süreleri odun kömürü (katı ürün) üretimi için uygundur; daha yüksek işlem sıcaklıkları ve daha uzun buhar kalış süreleri gaz üretimini desteklerken, orta sıcaklıklar ve kısa buhar kalış süreleri altında sıvı bir ürün elde edilir. Ürünün işlem koşullarına ve buhar kalış sürelerine bağlılığı, biyokütlenin bileşimi ve pirolizin kimyasal doğası temelinde açıklanabilir. Biyokütle esas olarak makromoleküller oluşturmak için büyük karbon atomları zincirlerinin birbirleriyle veya oksijen atomlarına veya bazen azot veya kükürt gibi diğer elementlere bağlandığı polimerleri içerir. Biyokütleden en sık görülen makromoleküller hemiselülozlar ve selülozlardır. İşlenmemiş biyokütle, az sayıda bu tür büyük polimerlerden veya makromoleküllerden oluşur. Selüloz doğrusal bir zincir polimerdir, oysa hemiselüloz, zincir boyunca rastgele konumlarda

bulunan yan zincirleri veya dalları olan dallı bir zincir polimeridir. Isı sağlandıkça, büyük polimerdeki monomer birimlerini bağlayan kimyasal bağlar kopmaya başlar. Selülozda bağlar zincir boyunca rastgele kırılırken, hemiselülozlarda önce yan zincir veya dallar kopar, ardından düz zincirlerin kırılması gelir. Daha fazla ısı sağlandıkça, çok sayıda daha küçük molekül üretilir, yani polimerizasyon derecesi (D_p) azalır. $D_p \setminus 10$ 'a düştüğünde, polimer artık bir polimer değil, bir oligomerdir. Bu oligomerler (özellikle D_p 'nin 8'den az olanlar) uçucudur. Bunlar 400°C ila 800°C arasındaki tipik piroliz sıcaklıklarında üretilir. Anhidro şekerler içeren bu oligomerler katı kütleden uçucu maddeler halinde buharlaşır. Bunların katı biyokütleden çıkarılması gerekir. Sökülmezlerse, yüksek sıcaklığın sürekli etkisi altında, yüksek derecede reaktif, küçük ara ürünler üretmek için termal fragmentasyona uğrarlar. Bu parçalar, hemen çıkarılır ve söndürülürse, kimyasallar veya yakıtlar gibi kullanılabilir. Bunlar yine katı biyokütleden çıkarılmazsa, yeni polimerler oluşturmak veya orijinal zincirlerin parçalanmasını hızlandırmak için geri kalan katı malzeme ile kimyasal reaksiyona uğrarlar. Bu reaksiyonlar ekzotermiktir ve bu nedenle genel piroliz reaksiyonunu hızlandırır. Böylece, işleme koşullarına ve buhar kalış sürelerine bağlı olarak, farklı ürün karışımına yol açan farklı tipte piroliz işlemleri geliştirilmiştir (Goyal vd., 2008).

Piroliz işlemleri, ısıtma hızına göre şu şekilde sınıflandırılabilir: Yavaş piroliz, hızlı piroliz ve ara piroliz. Tüm bu tip piroliz işlemleri oksijen olmadan gerçekleştirilir. Gerçekleştirildiği ortama bağlı olarak, sulu piroliz (su varlığında gerçekleştirilir) veya hidropiroliz (hidrojen varlığında gerçekleştirilir) olarak sınıflandırılır.

2.1.2.1. Yavaş piroliz

Yavaş piroliz işlemi esas olarak kömürün üretimi için kullanılır ve biyokütlenin uzun süre yavaşça ısıtılmasını içerir (dakikalardan günlere kadar).

Torrefaction, oksijen olmadan düşük sıcaklıklarda (230-300 °C) gerçekleştirilen yavaş bir piroliz işlemidir. Enerji yoğunluğunu arttırmak, oksijen / karbon ve hidrojen / karbon oranını azaltmak ve higroskopikliğini azaltmak için biyokütlenin ön işleminden geçirilmesinin bir şeklidir. Bu ön işlem, biyokütleyi diğer biyokütle dönüştürme işlemleri için daha uygun hale getirir. Örneğin, biyokütlenin yüksek oksijen içeriği gazlaştırma işlemi sırasında termodinamik kayıpları artırır. İşlem sonucu oksijen / karbon oranının azaltılması, gazlaştırma işlemi sırasında termodinamik kayıpları azaltır. Selüloz içeren biyokütleden mikrofibriller hemiselüloz ile desteklenir veya bağlanır. Torrefaksiyon süreci bu hemiselülozu depolimerize ederek bunun sonucunda selüloz fibrillerin bağlanmasında

azalma olur. Bu, yapının kırılma olmasına neden olarak, çoğu biyolojik dönüşüm işleminden önce gelen boyut küçültme işlemi için enerji ihtiyacını azaltır. Torrefaction'a çoğu durumda bir renk değişimi eşlik eder. Yeşil fasulyenin uzun süre 200-300 °C'ye ısıtılmasıyla kahve çekirdeklerinin kavurulması işlemi, torrefaksasyon işleminin en popüler örneğidir. Yırtılma işlemi sırasında, işlem sırasında meydana gelen kısmi buharlaşma nedeniyle biyokütlenin enerji içeriğinde bir miktar azalma olur. Bununla birlikte, enerji içeriğindeki bu azalma, işlem sırasında biyokütlenin enerji yoğunluğundaki artışla telafi edilir (Goyal vd., 2008).

2.1.2.2. Kömürleşme

Karbonizasyon, biyokütlenin oksijen olmadan yavaşça 400 °C'ye kadar ısıtıldığı ve birkaç gün boyunca korunduğu yavaş bir piroliz işlemidir. Uzun ısıtma süresi, yoğunlaşabilir buharın kömür ve yoğunlaşmaz gazlara dönüştürülmesi için yeterli zaman sağlar. Pirolizin en eski şeklidir ve genellikle kömür yapmak için ucuz bir alternatif olarak kullanılır. Katran, pirojenik asit ve yanıcı gazlar bu işlemin ürünleridir. Torrefaksiyonda olduğu gibi burada da, hemiselülozun dehidrasyonu ve depolimerizasyonu gerçekleşir. Moleküller arası bağların kırılması ve yeniden şekillendirilmesi, yüksek molekül ağırlıklı ve düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin oluşmasıyla sonuçlanır, burada düşük molekül ağırlıklı fragmanlar sıvı ve gaz halindeki ürünlere ayrılır ve bununla birlikte katı kömür ürünü oluşturmak için yeniden bağlanma sonucunda oluşan yüksek moleküler ağırlıklı fragmanlar birlikte verilir. Ürün dağıtımını besleme boyutuna, ısıtma hızına ve işlemin korunduğu sıcaklığa bağlıdır. Sıvı (katran) verimi, yem boyutunda azalma ve aynı anda ısıtma hızında artış ile artar. Karbonizasyon işleminin baskın ürünü, yani kömür, yemek pişirmek için katı bir yakıt olarak kullanılmasının yanı sıra, toprak iyileştirme için kömür kullanımı gibi yeni kullanımlar kazanmıştır. Sürecin yan ürünleri, yani pirolijen asit, tarımda ve deodorant olarak kullanım uygulamalarına sahiptir(Singh vd., 2016).

2.1.2.3. Hızlı piroliz

Hızlı piroliz genellikle biyo-yağ gibi sıvı biyoyakıtların üretimi için tercih edilen işlemdir. Pirolitik yağlar ve / veya orta ila yüksek enerji değerine sahip gazlar üretmek için biyokütlenin, atmosfer basıncından 3 MPa'ya kadar basınçlara kadar basınçlarda buhar veya diğer oksitleyici olmayan gazlar altında 300-1.300 °C sıcaklıklarda ısıtılmasını içerir. Piroliz ürünü, koyu kahverengi homojen bir sıvı içerir. Bu sıvı, geleneksel akaryakıtın yaklaşık yarısı olan bir ısıtma değerine sahiptir. Hızlı piroliz işlemi böylece biyokütleyi

lojistiği önemli ölçüde artırabilen daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahip sıvı ürüne `` yoğunlaştırır " (çünkü sıvılar bir yerden bir yere kolayca taşınabilir) ve ekonomiktir (biyokütlenin enerji yoğunluğu arttığı için). Proses parametreleri farklı tiplerde proses varyantları ve dolayısıyla farklı oranlarda sıvı, katı ve gaz verecek şekilde ayarlanabilir. (Singh vd., 2016).

Hızlı piroliz sürecinde, aşağıdaki işlem koşulları altında yüksek sıvı verimleri elde edilebilir:

- Yüksek ısıtma ve ısı transfer oranları
- Piroliz reaksiyon sıcaklığının yaklaşık 500 °C ve buhar faz sıcaklığının 400–500 °C dikkatli kontrolü
- Kısa sıcak buhar kalış süresi (< 2 s)
- Sıvı biyoyakıt vermek için piroliz buharlarının hızlı soğutulması.

Yukarıdaki koşullardan görülebileceği gibi, hızlı piroliz hızlı ısıtma ve hızlı soğutma gerektirir, yani verimli ısı transferi gerektirir. Bu nedenle, reaktör ekipmanı, işlemi ve hammaddesi verimli ısı transferi mümkün olacak şekilde olmalıdır. Düşük sıcaklıklar kömür oluşumunu destekler, bu nedenle bundan kaçınılmalıdır. Tablo 1.5, reaktör sistemleri ve belirgin özellikleri bakımından hızlı pirolizin farklı proses varyantlarını vermektedir.

Endotermik bir süreç olan piroliz, proses ısısının bazı yollarla sağlanmasını gerektirir. Ticari bir proses tasarımı tipik olarak bu ısıyı prosesin içinden elde edilen yan ürünlerden sağlar. İşlemi yürütmek için hammaddenin enerji içeriğinin yaklaşık% 50-75'i gereklidir. Karakteristikteki enerji içeriği hızlı pirolizin yan ürünlerinden biri, besleme stoğundaki enerjinin yaklaşık% 25'i iken, diğer yan ürün olan gaz, yemdeki enerjinin sadece% 5'ini içerir. Bu nedenle, yan ürünlerin net ısı içeriği piroliz ısısını sağlamak için yetersizdir, bu nedenle hızlı piroliz için işlem ısısının başkaları tarafından sağlanması gerekir. Harici araçlar:

- sıcak reaktör duvarı
- sıcak kömür ve havanın dolaştığı tüpler
- sıcak akışkanlaştırıcı gaz
- geri dönüşümlü sıcak kum
- sıcak hava eklenmesi. (Singh vd., 2016).

Proses içinden enerjinin dahili olarak kullanılması, yani proses ısısının sağlanması için kömür veya gazın kullanılması veya biyokütleden veya ürünün kendisinden enerji kullanılması aşağıdaki yollarla yapılabilir:

- Yan üründeki enerji içeriğini kullanmak yerine proses ısısı sağlamak için biyokütlenin yanması (özellikle char için iyi bir pazarın olduğu yerlerde)
- Yan ürün kömürünün gazlaştırılması ve daha sonra elde edilen sentez gazının yanması
- Yan ürün -harici takviyeyle birlikte gaz kullanımı (çünkü yan ürün gazının enerji içeriği kendi içinde yetersiz olacaktır)
- İşlemin ana ürününün, yani biyo-yağın kullanılması.

Fosil yakıt kullanımı, yüksek enerji değerine sahip yan ürünler elde etmek için yukarıdaki enerji kaynaklarını desteklemek için de yapılabilir. Düzgün tasarlanmış hızlı piroliz işlemi ve işlem ekipmanı temiz baca gazı ve kül dışında atık ürün içermez. (Singh vd., 2016).

Hızlı piroliz işleminin sıvı ürünü, aerosoller, gerçek buharlar ve yoğunlaştırılmayan gazlar biçimindeki işlemin gaz halindeki ürünlerinin yoğunlaştırılması, gazların hızlı soğutulması ile elde edilebilir. Aerosoller sıvı ürünü elde etmek için birleştirilebilir veya toplanabilir. Genellikle, kömür hızlı pirolizin gaz halinde ürününe karışır ve bir buhar kraking katalizörü görevi görür. Bu kömür, siklonlar vasıtasıyla buhardan çıkarılır. Gazın içindeki kömürü çıkarmak için siklonların kullanılmasına rağmen, bazı kömür hala buharda uzaklaşır ve bu buharın yoğunlaşması üzerine sıvı üründe kalır. Hızlı pirolizin sıvı ürünü bu nedenle bir mikroemülsiyondur ve sıvı üründe kalan kömür bu mikroemülsiyonun dengesizleşmesine neden olur. Sıvı üründe kalan kömür, <5 mikro metreye kadar olan partiküllerin çıkarılabildiği amodize basınçlı filtrasyon işlemi ile uzaklaştırılır.

2.1.2.4. Ultra hızlı piroliz

Ultra hızlı pirolizde çok yüksek ısıtma hızları ve kısa buhar kalma süreleri ile yaklaşık 1000 °C sıcaklıklar ağırlıklı olarak gaz halinde bir ürün verir. Pirolizden sonra birincil ürünün hızlı bir şekilde söndürülmesi yapılır. Isıtma, kum gibi bir ısı taşıyıcı katı kullanılarak yapılır. Bir gaz-katı ayırıcı gazı ısı taşıyıcı katıdan ayırır (Ganesh, 2001).

2.1.2.5. Hidrosiproliz ve Hidroproliz

Hidrosiproliz ve hidroproliz, biyokütlenin yüksek basınç koşulları altında sırasıyla su veya hidrojen varlığında termal ayrışmasını içerir. İşlem genellikle iki aşamada gerçekleşir. İlk aşama, biyokütlenin su veya hidrojen ile 200-300 °C'de basınç altında muamele edilmesini içerir; ikinci aşama, birinci aşamada üretilen hidrokarbonun yaklaşık 500 °C'lik bir sıcaklıkta daha hafif hidrokarbonlara ayrılmasını içerir. Bu tip piroliz

yöntemiyle üretilen biyo-yağ, istenen bir karakteristik olan azaltılmış oksijen içeriğine sahiptir (Ganesh, 2001).

2.1.2.6. Vakum pirolizi

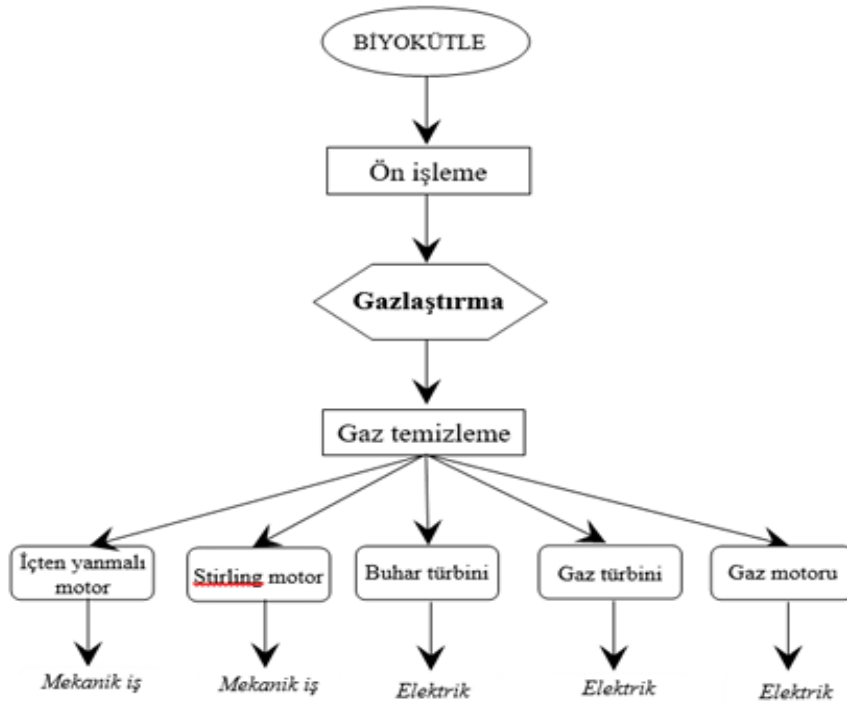
Vakum pirolizinde, biyokütle kaynama noktasını azaltmak ve istenmeyen kimyasal reaksiyonları önlemek için vakumda ısıtılır. Vakum pirolizi 400-500 °C sıcaklıklarda ve toplam 2-20 kPa basınçta gerçekleştirilir. Bu koşullar altında, piroliz ürünü, sıcak reaksiyon odasından hızla geri çekilebilir ve bu da biyokütlenin termal ayrışmasından kaynaklanan birincil parçaların korunmasını sağlar. Pirolizde bir hız sınırlayıcı faktör olan ısı transferi, vakum pirolizindeki temel sınırlamadır.

Piroliz teknolojisi, yanma veya gazlaştırma teknolojilerinden daha az gelişmiştir. Bu muhtemelen piroliz işleminden elde edilen biyo-yağın fosil yakıttan% 10-100 daha fazla olması ve bulunabilirliğinin sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır; piroliz yağlarının kinematik viskozitesi, hammaddenin doğasına ve diğer faktörler arasında piroliz sıcaklığına bağlı olarak geniş bir aralıkta değişir; biyo-yağ, 2.5-3.0 arasında bir pH değerine sahip asidik yapıda olup, karbon, çelik ve alüminyum gibi yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerini aşındırır. Kullanılan sızdırmazlık malzemelerinden bazıları da etkilenebilir; biyo-yağ, yağ kütlelerinin ağırlıkça yaklaşık% 15-30'luk bir su içeriğine sahiptir, bu da yağın düşük enerji yoğunluğunu gösterir; bu, damıtma gibi geleneksel yöntemlerle giderilemez. Pirolizden elde edilen biyo-yağın yukarıdaki tüm özellikleri, bir taşıma yakıtı olarak, kimyasalların üretilmesi için bir öncü olarak doğrudan uygulama için uygun değildir. Biyo-yağın katalitik yükseltme gibi yöntemlerle yükseltilmesi yapılmalıdır. Önce çeşitli uygulamalar için kullanılabilir (Ganesh, 2001).

2.1.3. Gazifikasyon(Gazlaştırma)

Biyokütlenin gazlaştırılması, biyokütlenin, sınırlı bir oksijen kaynağı varlığında veya bu şekilde temin edilebilen veya hava veya buhar formunda yüksek sıcaklıkta termokimyasal dönüşümüdür. Biyokütle dönüşümü için termokimyasal yöntemler arasında en son biyokütle dönüştürme teknolojisidir. Gazlaştırma ürünü, elektrik enerjisi üretimi, sıvı yakıtların üretimi ve biyokütleden kimyasalların üretiminde uygulamaları olan gazlı bir üründür. Gazlaştırmanın pirolizin bir uzantısı olduğu söylenebilir ve kömür veya sıvı pahasına maksimum gaz fazını verecek şekilde optimize edilmiştir. Gazlaştırma işleminden üretilen gaz, bir dereceye kadar üretilen karbon dioksit ve azot ile birlikte bir karbon monoksit, hidrojen ve metan karışımıdır ve amonyak veya metanol üretmek için sentez

gazı olarak kullanılabilirdiği için üretici gaz olarak adlandırılır. Buna karşılık, sentetik yakıt (sentetik benzin) üretmek veya bir hidrojen kaynağı olarak kullanılır. Aynı zamanda bir ısı kaynağı gibi veya gaz türbinleri yoluyla elektrik üretmek için de kullanılabilir. Gaz türbini, kombine çevrim gaz türbini sistemine (biyokütle entegre gazlaştırma kombine çevrim - BEGKÇ olarak da adlandırılır) entegre edilmişse, elektrik türüne göre% 50'ye kadar verimlilik elde edilebilir. Bu sistemde gaz türbininden çıkan atık gaz geri kazanılır ve bir buhar türbininde buhar üretmek için kullanılır. Şekil 2.7, böyle bir sistem için şematik bir akış sayfasını göstermektedir. Böyle bir entegrasyonla, biyokütle gazlaştırma tesisleri, elektrik üretimi için kömürle çalışan bitkiler kadar ekonomik olabilir.



Şekil 2.7. Gazlaştırma ile enerji üretimi(Demirci,2017).

Bununla birlikte, güç çıkışı ekonomik biyokütle arzı ile sınırlıdır ve genellikle 80 MW civarında elektrik sınırlıdır. Gazlaştırma için kullanılan ortam, yani oksijen, hava, buhar, vb. elde edilen ürünün ısıtma değerini büyük ölçüde etkiler. Buhar mevcudiyetinde gazlaştırma en yüksek ısıtma değerine sahiptir, bunu sırasıyla oksijen ve hava takip eder. Buhar mevcudiyetinde gazlaştırma ürünü en yüksek ısıtma değerine sahip olmasına rağmen, suyun buharlaştırılması için daha yüksek çalışma sıcaklıkları gereklidir ve bu da işlemin maliyetini artırır. Genellikle, değişken giriş oranına sahip bir hava ve buhar karışımı kullanılır. Ticari gazlaştırıcılar, kömür, odun, fındık kabuğu, pirinç kabuğu ve hindistancevizi kabukları gibi çeşitli biyokütle besleme stoklarını kullanabilen çok çeşitli boyutlarda ve çeşitli tiplerde mevcuttur. Plazma gazlaştırma ve hidrotermal gazlaştırma

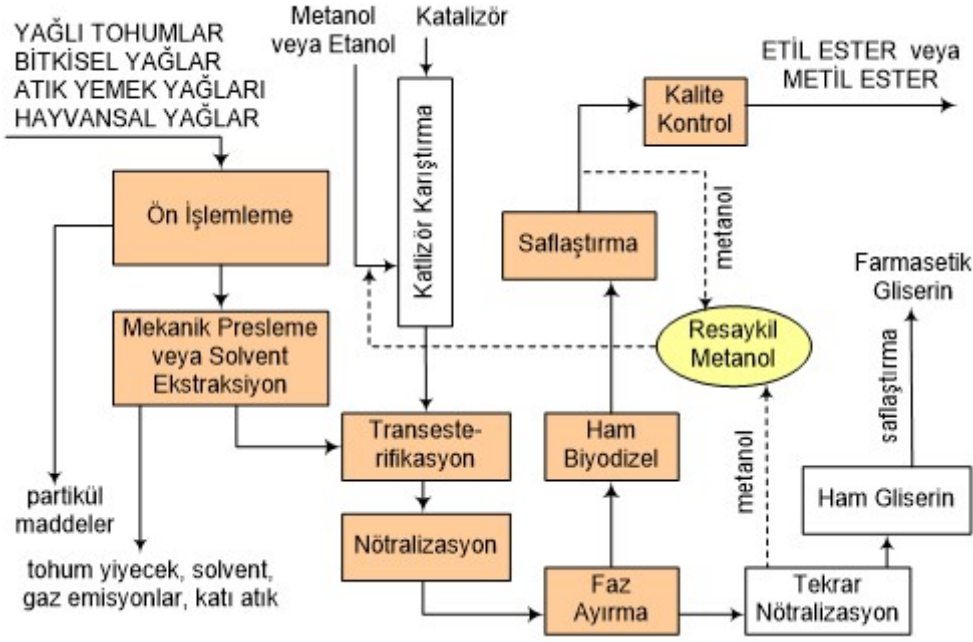
biyokütlenin gazlaştırılmasındaki ilk adımdır. Bu aşamada, büyük moleküller daha küçük gaz moleküllerine (yoğunlaşabilir ve yoğunlaşamaz), karbon kömürüne ve katranlara / yağlara bölünür. Bu aşama endotermiktir ve oksijen veya hava veya herhangi bir ortam ile reaksiyonları içermez. Biyokütlenin ilk pirolizinden sonra, piroliz ürünlerinin birbirleriyle ve piroliz için kullanılan ortamla (oksijen, hava veya buhar) CO, CO₂, H₂, H₂O ve CH₄ vermek üzere reaksiyona girdiği bir dizi ikincil reaksiyon meydana gelir. Karbon kömürü, ilave yanıcı gazlar üretmek için sınırlı hava, oksijen veya buhar varlığında gazlaştırılarak üretici gaz verir.

2.1.4. Biyodizel

Biyodizel, yağlı tohumlu bitkilerden elde edilen hayvansal ve bitkisel yağlar bir katalizör yardımıyla kısa zincirli alkol (etanol veya metanol) reaksiyonu sonucu elde edilir ve yakıt olarak kullanılır. Biyodizel petrol içermemesine rağmen herhangi bir oranda yağ bazlı bir dizel ile karıştırılmasıyla yakıt olarak kullanılabilirler. Sade biyodizel ve dizelli biyodizel karışımları, motorda herhangi bir modifikasyon veya küçük modifikasyon yapılmadan dizel motorlarda kullanılabilir (YEGM, 2018).

2.1.4.1. Biyodizel üretim yöntemi

Biyodizel üretiminde çeşitli yöntemler kullanılmakla beraber günümüzde en geniş kullanım yöntemi transesterifikasyon (alkoliz) yöntemidir. Transesterifikasyon reaksiyonlarında hammadde olarak kullanılacak yağlar, katalizörler ve monohidrik alkol eşliğinde ana ürün olarak gliserin esterleri ve yağ asidi verilerek esterleştirilir. Ayrıca, esterleşme reaksiyonu sonucunda yan ürünler olarak serbest yağ asitleri, mono ve di-gliseritler ve fazla reaktanlar oluşur. Biyodizel üretiminde ayçiçeği, kanola (kolza tohumu), soya fasulyesi vb. yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel olan yağlar, hayvansal yağlar ve atık kızartma yağları, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit ve sodyum metil), ile metanol olarak alkol tercih edilmektedir (YEGM, 2018). Biyodizel üretimi Şekil 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 2.9. Biyodizel üretim prosesi (Guo vd., 2015)

- a) **Alkol ve katalizör karıştırılması:** Katalizör olarak sodyum-hidroksit (kostik soda) veya potasyum-hidroksit kullanılır. Katalizör, standart bir karıştırıcıdır ve karıştırıcıyı kullanarak alkolde çözülür.
- b) **Reaksiyon:** Alkol-katalizör karışımı reaksiyonun gerçekleşeceği kaba alınır ve bitkisel/atık, bitkisel veya hayvansal yağlar ilave edilir. Alkol kaybı önlenmesi için sistem atmosfere tamamen kapalıdır. Karışım belirli süre, sıcaklık ve hızda karıştırılarak reaksiyon tamamlanır.
- c) **Ayırma:** Reaksiyonun tamamlanmasından sonra iki ana ürün olarak gliserin ve biyodizel elde edilir. Aynı haznedeki gliserinin faz yoğunluğu, biyodizel fazından çok daha fazladır ve bu iki faz yerçekimi ile ayrılabilir ve gliserin fazı, çöktürme kabının tabanından kolaylıkla uzaklaştırılır.
- d) **Alkol giderme:** Biyodizel ve gliserin fazları ayrılmasından sonra, her fazda oluşan fazlalık alkol, hızlı buharlaşma veya damıtma işlemi ile uzaklaştırılır ve reaksiyon karışımı nötr edilir. Gliserin ve ester fazları birbirinden ayrılır.
- e) **Gliserin nötralizasyonu:** Gliserin yan ürünü, kullanılmamış katalizörler ve bir asit ile nötr edilen sabunlar içerir ve ham-gliserin olarak depolanmak üzere depolama tankına iletilir. Bazı durumlarda, bu aşamanın geri kazanılması boyunca kullanılan kimyasalların ürettiği tuzlar, gübre olarak kullanılması için geri dönüştürülür. Çoğu durumda, gliserin içinde tuz kalır. %80-87 saflıkta gliserin elde edilmesi amacıyla su ve alkol uzaklaştırılır.

f) Nötralizasyon ve yıkama işlemi: Gliserin maddesinden ayrıldıktan sonra asit solüsyonu ile birlikte yıkanarak biyodizeldeki kalıntılar giderilir ve nötralize edilir. Sudan çıkarılan biyodizel depoya gönderilir.

2.1.4.2. Biyodizelin çevresel özellikleri

Biyodizelin bazı çevresel özellikleri şunlardır; Biyodizel tarımsal-bitkilerden elde edildiğinden karbondioksiti foto-sentez yoluyla dönüştürdüğü ve karbon döngüsünü hızlandırdığı için sera etkisi yapmaz. Çevre dostu olarak kabul edilmiş olan biyodizelin içerdiği kükürt miktarı, bakteriler tarafından kolayca parçalanabildiği için dizele göre çok daha düşüktür. Bu nedenle olumsuz çevresel etkileri önler. Biyodizel, biyolojik karbon döngüsünde karbondioksiti fotosentez ile dönüştürerek karbon-döngüsünü hızlandırır ve ayrıca sera gazları emisyonlarını artırmada hiçbir etkisi olmuyor. Biyodizel, dizel yakıtla oranla egzoz gazı olarak daha düşük emisyon sağlar. Dizel yakıtla karşılaştırıldığında, biyodizelden kaynaklanan karbon monoksit emisyonları %48'den azdır. Biyodizelin ozon tabakası üzerindeki olumsuz etkileri dizel yakıtla göre %50 daha azdır. Biyodizel, dizel yakıt kullanımından kaynaklanan birçok çevresel faktörü ortadan kaldırır. Biyodizel emisyonlarında, aromatik hidrokarbonlar ve türevlerinden (pah) poliklinik emisyonlara neden olan potansiyel kanserde %80-90 oranında azalma tespit edilmiştir (YEGM, 2018).

2.1.5. Biyoetanol

Biyoetanol şeker, nişasta veya şeker pancarı, buğday, mısır gibi selüloz esanslarının fermantasyonu ile elde edilen ve benzinle belirli oranda karıştırılarak elde edilen alternatif yakıtlardan biridir. Biyoetanol berrak, renksiz ve karakteristik bir sıvıdır. Yüksek oktanlı bir yakıt olarak kabul edilir ve kaynama noktası 78,5°C ve donma noktası -114.1°C'dir. Biyoetanolin hammaddeleri şeker pancarı, şeker kamışı, mısır, tatlı sorgum, patates, buğday, tarımsal atıklar ve odunsu bitkilerdir (YEGM, 2018).

Nişasta önce şekere dönüştürülür, ardından şekerin doğrudan fermente edilmesiyle biyoetanolin dönüşümü sağlanır. Biyoetanol üretiminde aşağıdaki işlem adımları izlenir (Anonymus, 2007);

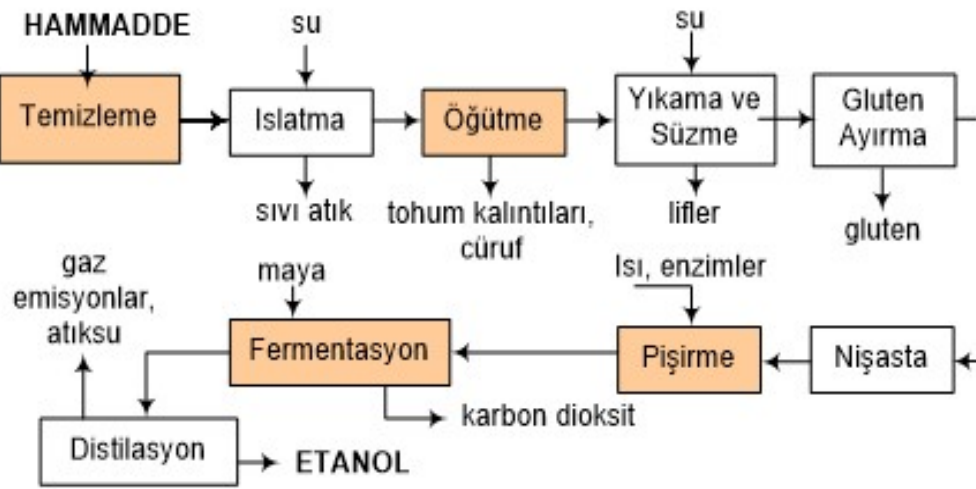
a) Hidroliz: Karbon-hidratların (selüloz ve hemiselüloz) konsantre ve seyreltilmiş sülfürik asit ile belirli sıcaklıkta şekere dönüştürülmesidir.

b) Fermentasyon: Hidroliz sırasında meydana çıkan şekerin maya ile etanole dönüştürülmesi olayıdır. Fermentasyonda şeker çözeltisi soğutulur, pH ayarlanır ve sürekli fermenterlere verilir. Maya eklenir ve eklenen maya şekerini %8 etanole dönüştürür.

Çözelti santrifüje aktarılır ve istenmeyen maddelerin çökertilmesinden sonra distilasyon işlemine gönderilir.

c) Saflaştırma: Çözelti önceden ısıtılır ve iki seri damıtma kolonuna verilir. İlk kolon içindeki suyu ayırır, ikincisi kalan suyu safsızlıklarla beraber ayırır ve fuzel yağ elde edilir. Motorlu araçlar su ve etanol karışımlarından zarar görebilir, bu nedenle üretilen biyoetanolün kurutulması olayı fayda sağlar.

d) Kurutma: Çözelti soğutulur ve zeolit içeren bir absorpsiyon kolonundan geçirilir ve kalan su ayrılır. Kolon içindeki zeolitın yeniden kullanıma hazır hale gelmesi 24 saat zaman sürer. Kurutulmuş biyoetanol depolamaya hazırdır.

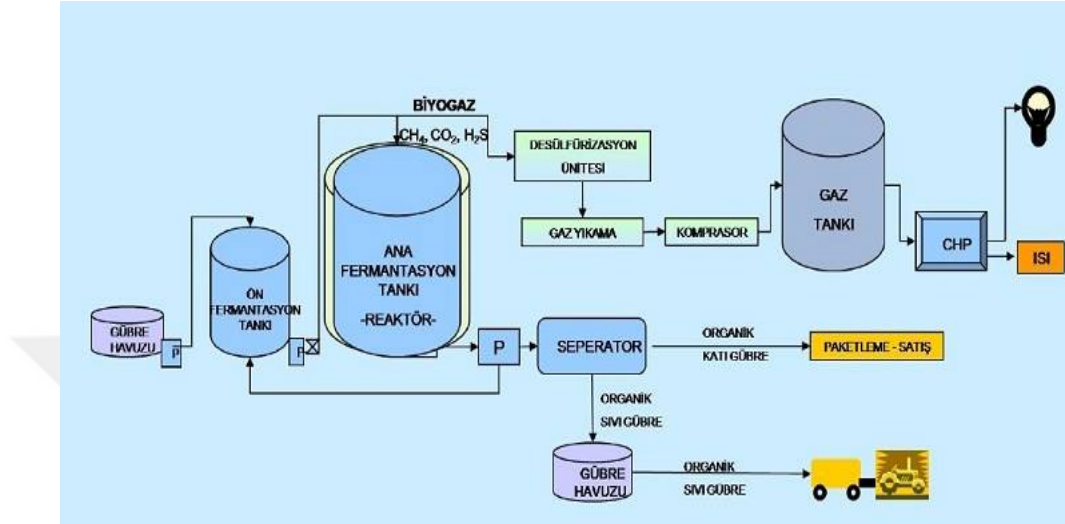


Şekil 2.10. Biyoetanol Üretim Akış Şeması

Biyoetanolün bazı çevresel ve sosyal faydaları; Biyoetanol egzoz emisyonlarını azaltır. Biyoetanol karışımları, hidrokarbon emisyonlarını büyük ölçüde azaltır ve bu da ozon tabakasının azalmasına neden olur. Yüksek seviye biyoetanol karışımları, nitrojen oksit emisyonlarını %21'ye kadar azaltır. Biyoetanol kanserojen etki ile benzen ve bütadin emisyonlarını %50 oranında azaltabilir. Biyodizel, kükürt dioksit ve partikül emisyonlarında önemli bir azalma sağlar. Tarım ürünleri için katma değer oranı yüksek yeni bir pazar oluşturarak etanol hammaddesi olarak kullanılan bitkilerin yetiştirilmesinin gelişmesine katkı sağlamaktadır. Enerji odaklı tarımsal faaliyetlerin gelişmesi ile yeni ve yerli yatırım ve istihdam olanakları sağlar. Enerji yoğun tarım yapan çiftçilerin gelir ve refah düzeylerinin artması. İthal petrol ihtiyacı için alternatif yerli, yenilenebilir ve stratejik enerji kaynağı oluşturur.(YEGM, 2018).

2.1.6. Biyogaz

Oksijensiz bir ortamda organik bazlı atık veya artık fermentasyon sonucu ortaya çıkan renksiz, kokusuz, hava-ışıklı, parlak mavi alevdir. %40-70 metan, %30-60 karbondioksit, %0-3 hidrojen sülfür ve çok az miktarda nitrojen ve hidrojen karışımıdır (YEGM, 2018).



Şekil 2.10. Biyogaz üretiminde süreç adımları (Anonim,2007);

- Fermantasyon ve hidroliz:** Biyogazın bu aşamasında fermentatif ve hidrolitik bakteri adı verilen bakteri grubu, karbon-hidratları, proteinleri ve yağları karbondioksit, asetik asit ve bunların büyük bir kısmında çözünebilen uçucu organik bileşiklere dönüştürür.
- Asetik asit oluşumu:** Bu aşamada esansiyel yağ asitlerini asetik aside çeviren asetojenik bakteri grupları (asetik asit üreten) ve bazı asetojenik bakteriler esansiyel yağ asitlerini asetik asit ve hidrojene dönüştürür.
- Metan gazı oluşumu:** Anaerobik fermentasyonun bu son aşamasında metan üreten bakteri grupları aktif hale getirilir. Bazı metan üretici bakteriler CO_2 ve H_2 kullanmasıyla metan ve su oluştururken, diğer metan salan bakteriler ikinci aşama sonucunda asetik asit kullanmasıyla CH_4 ve CO_2 salınımını oluştururlar.

Biyogazın bazı faydaları şunlardır; Hayvansal ve bitkisel organik atık-artık maddeler çoğunluk olarak doğrudan yakılmakta veya tarım arazilerine gübre olarak verilmektedir. Bu tür atıklar, özellikle yakılmasıyla ısı üretiminde kullanıldığı daha yaygın görülmektedir. Bu sayede istenilen özellikte ısı üretilmemekte, atıkların gübre olarak kullanılmasından sonra ısı üretimi mümkün olmamaktadır. Biyogaz teknolojisi, organik kökenli atıklardan hem enerji elde edilmesini hem de atıkların toprağa alınmasını sağlar. Hem enerji hem de gübrenin ucuz ve çevre dostu kaynağı. Atıkların geri dönüşümünü

sağlar. Hayvan gübresinde ot bulunabilen tohum çimlenme özelliğini kaybeder. Hayvan gübresinin kokusu hissedilmeyecek derecede kaybolmaktadır (YEGM, 2018).



3. BULGULAR

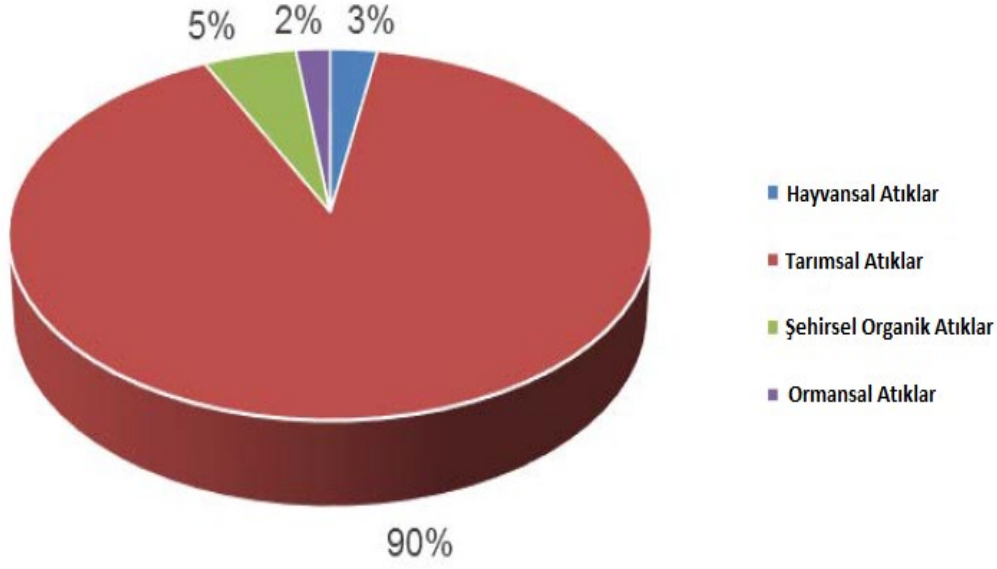
3.1. Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli

Biyokütle kaynakları yaş biyokütle ve kuru biyokütle olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Enerji üretiminde kullanılacak biyokütle kaynakları; bitkisel kaynaklı atıklar, hayvansal kaynaklı atıklar ve şehir ve sanayi kaynaklı atıklar olarak üç ana başlık altında incelenebilir. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilen Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası'na göre Türkiye'nin kaynak bazlı biyokütle potansiyeli Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Kaynak	Potansiyel (TEP/Yıl)
Hayvansal Atık Enerji Eşdeğeri	1 176 198
Bitkisel Atık Enerji Eşdeğeri	39 877 285
Şehirsal Atık Enerji Eşdeğeri	2 315 414
Ormansal Atık Enerji Eşdeğeri	859 899
Toplam	44 228 795

Tablo 3.1. Türkiye'nin kaynak bazlı biyokütle potansiyeli (BEPA, 2021)

Türkiye Biyokütle Enerji Potansiyeli Atlası'na göre başlıca biyokütle kaynağının tüm kaynakların %90'ını oluşturan tarımsal atıklar olduğu Şekil 3.1'de açıkça görülmektedir. Fakat biyokütleden enerji elde edilmesi için kullanılan diğer kaynaklar %2 ile %5 arasında düşük oranlara sahiptir.



Şekil 3.1. Kaynak bazlı olarak Türkiye biyokütle potansiyelinin yüzde oranı (BEPA, 2021)

Türkiye'deki birçok tarımsal atık, dağınık atık, nakliye ve işçilik maliyetleri nedeniyle değerlendirilememektedir. Türkiye'de yılda 50-65 Mtep (milyon ton petrol eşdeğeri) tarım kaynaklı atıklar ve 11.05 Mtep hayvan kaynaklı atıklar üretilmesine rağmen, üretilen bu atıkların sadece %60'ı enerji üretimi için kullanılabilir. Tarım ve hayvansal atıklardan elde edilen enerjinin Türkiye'nin yıllık enerji tüketiminin %22-27'sine eşit olduğu bilinmektedir.

3.1.1. Tarımsal Üretimden Kaynaklanan Biyokütle Miktarı Ve Isı Değeri

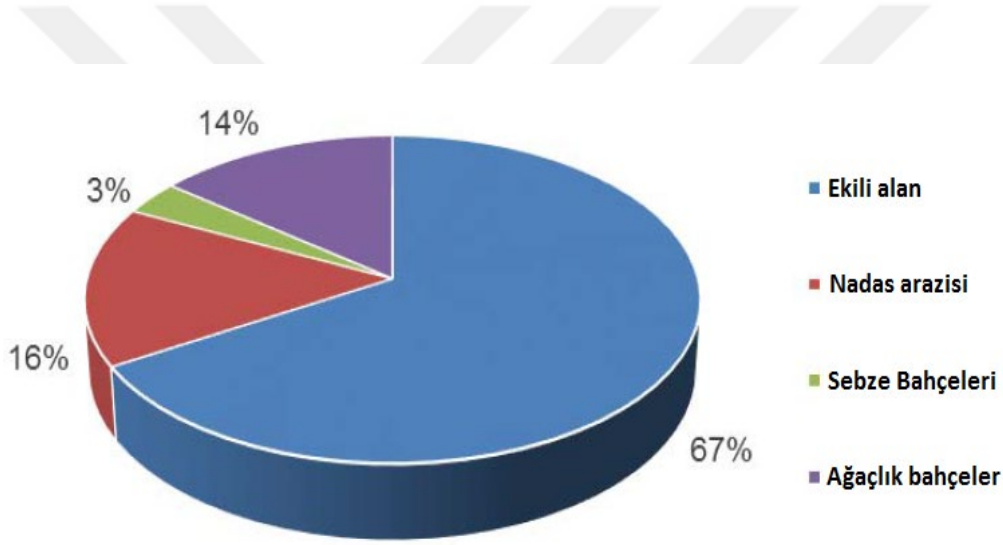
Türkiye tarımın gelişmiş olduğu bir ülkedir. Sebze üretimi genellikle plansız sebze üretimi, ürün fiyatlarındaki dalgalanmalar, çiftçilerin yüksek üretim maliyetleri, şehirlere göçler vb. faktörlerden kaynaklanan dengesizlikler ve verimsizliklerle karakterizedir. Arazi mülkiyeti daha verimli kullanılırsa, ürün fiyatları ve bitkisel üretim potansiyeli artırılırsa, ürün yetiştirmenin maliyeti dengelenecektir. Tablo 3.2. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre çayır ve mera alanları olmaksızın Türkiye'nin varlığı ve arazi kullanımına ilişkin bilgilerin verildiğini göstermektedir.

	Dekar
Toplam Alan	233 757 880
Hububat ve diğer mahsül ürünleri alanı(ekilen)	155 317 343

Hububat ve diğ er mahsül ürünleri alanı(nadas)	36 974 137
Sebze bahçeleri	7 982 650
Ağaçlık bahçeler	33 433 816
Ormansal alanlar	49 934

Tablo 3.2. Türkiye topraklarının varlığı (TÜİK, 2021)

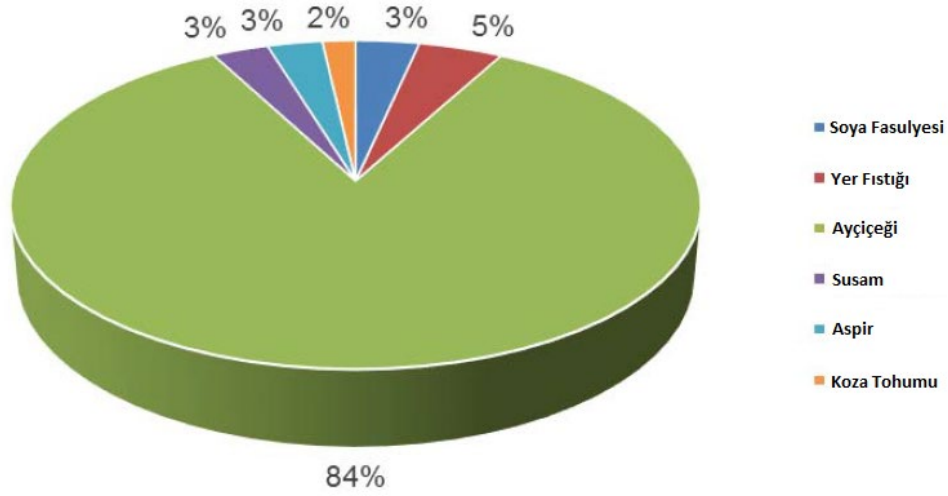
Şekil 3.2'de ekilen alanın çayır ve mera alanı olmayan tüm Türkiye topraklarının %67'sini oluşturduğu, en düşük oranın ise %3 ile sebze bahçelerinin olduğu alan olduğu açıkça görülmektedir. Ancak ikinci ana alanlar sırasıyla %16 ve %14 olan nadas alanı ve ağaçlık bahçe alanlarıdır.



Şekil 3.2. Türkiye topraklarının varlık oranı(TÜİK, 2021)

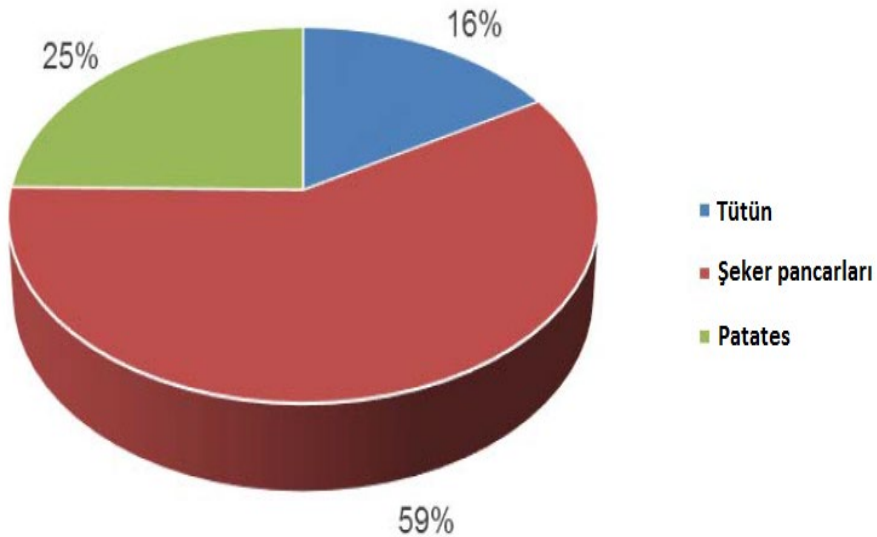
Ülkemizde tarımsal atıklardan elde edilebilecek enerji potansiyeli 5,4 mtep (milyon ton petrol eşdeğ eridir). Ayrıca ülkemiz odun, orman ve sanayi atığı olarak 5,9 milyon ton petrol eşdeğ eri potansiyele sahiptir.

Biyokütle potansiyeli olan ürünlerin (yağlı tohumlar, yemeklik kök ve yumrular, tahıllar, kuru bakliyatlar, parfümeride, eczacılıkta veya benzeri amaçlarla kullanılan bitkiler ile yem bitkileri tohumu, tekstilde kullanılan hammaddeler) toplam ekim alanları 2021 TÜİK verileri aşağıdaki şekilde verilmiştir. Genel olarak, ekimden yapılan altı farklı tohum türü vardır ve aralarında büyük farklar vardır. Ayçiğ eğ inin en yüksek değ ere (%84) sahip olduğu ve ana kaynak olarak kabul edildiğ i, diğ er kaynakların %2 ile %5 arasında hemen hemen aynı oranlara sahip olduğu, ancak soya fasulyesi, susam ve aspirin aynı olduğu görülmektedir. (Şekil 3.3).



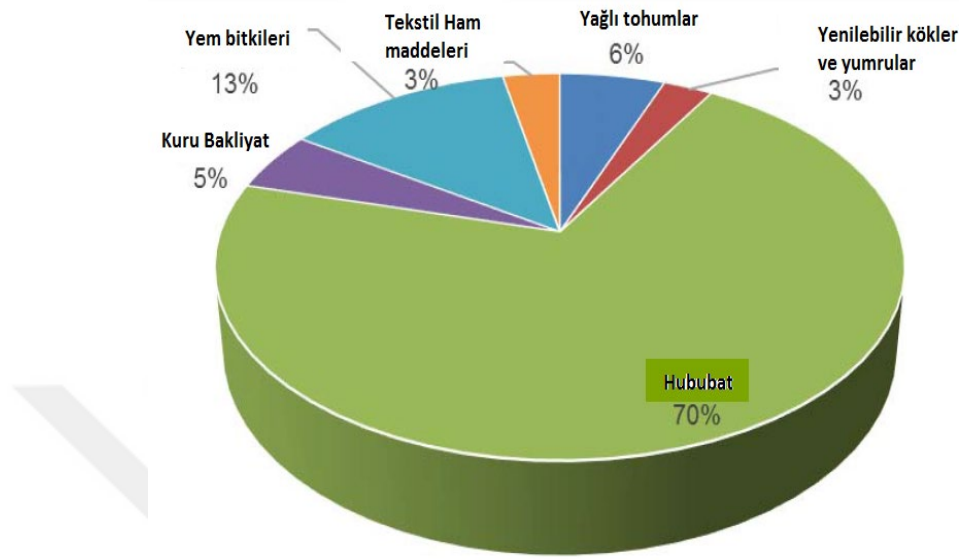
Şekil 3.3. Yağlı tohumların ekim oranı(TÜİK, 2021)

Biyokütle kaynağı olarak kullanılan yenilebilir kök ve yumruların ekim yapılan toplam ekim alanı genel olarak biyokütle kaynağı olarak tütün, şeker pancarı ve patates olmak üzere üç ana kaynak bulunmaktadır. Şeker pancarı alanının en yüksek yüzdeye (%59) sahip olduğu, en az oranın ise tütünün (%16) olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Yenilebilir kök ve yumru köklerin ekim oranı(TÜİK, 2022)

Şekil 3.5'da ekilen alan bazında ürünlere bakıldığında, en yüksek orana (%70) hububat sahipken, tekstilde kullanılan hammaddeler ile yenilebilir kök ve yumrular aynı orana (%3) sahiptir.



Şekil 3.5. Biyokütle potansiyeli olan ürünlerin yetiştirme alanlarının oranı(TÜİK, 2021)

3.1.2. Bölgelere Göre Tarımsal Üretimden Elde Edilen Biyokütle Miktarı Ve Isı Değeri

Kullanılan yedi farklı tarım ürünü türü (parfümeri, eczane bitkileri, şeker pancarı, yem bitkileri tohumu/patates, kuru bakliyat, yenilebilir kök ve yumrular/tekstil/yem bitkileri/şeker pancarı/tahıllar/yağlı tohumlar) bulunmaktadır. Biyokütle kaynakları için; yılda 80-100 ton yaş ve 25-30 ton kuru biyokütle ile orta verimli bir hektardan elde edilmektedir (Balat, 2005). Genel olarak bu kuru biyokütlenin ısı değeri 3800-4300 kcal/kg arasında değişiklik göstermektedir (Koçer ve Ünlü, 2007). Tarım kaynaklı biyokütlenin enerji eşdeğeri hesabında 1 kcal = 1.10^{-7} TEP (ton eşdeğer petrol) ve 1 TEP = 0.01163 MW eşdeğeri kullanılmıştır (Topal ve Arslan Topal, 2012).

Buna göre bir yıl boyunca üretilebilecek ortalama kuru biyokütle miktarı, ortalama kuru biyokütle ısı değeri ve ortalama kuru biyokütle enerji değeri aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır (Demir vd., 2015; Kuş vd., 2016) .

$$ADBA = (4.4.)$$

$$ADBTV = (4.5)$$

$$ADBEV = (4.6)$$

ADBA: Ortalama Kuru Biyokütle Miktarı, (ton)

ADBTV: Ortalama Kuru Biyokütle Termal Değeri, (kcal/kg)

ADBEV: Ortalama Kuru Biyokütle Enerji Değeri, (TEP)

A: Alan, (ha)

Yılda üretilebilecek olan ortalama kuru biyokütle miktarı, ortalama kuru biyokütle ısı değeri ve ortalama kuru biyokütle enerji değeri bu eşitliğe göre hesaplanacaktır.

Türkiye İstatistik Kurumu 2021 yılı verilerine göre (TÜİK, 2021b), toplam ekilen alan, ortalama kuru biyokütle miktarı ve kuru biyokütle enerjisinin değeri ve eşdeğer potansiyeli için Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Batı Anadolu en yüksek oranlara (%15) sahipken, Doğu Karadeniz en düşük orana (%1) sahiptir. İstanbul'un diğer bölgeye göre çok düşük miktara sahip olduğu, yüzdesinin %0'a tekabül ettiği açıkça görölmektedir. Ege ve Akdeniz de aynı yüzdelere sahiptir ve bunların toplamı %20'ye eşittir. Batı Marmara ve Batı Karadeniz de aynı oranlara sahip olup, Ege ve Akdeniz toplamı için yaklaşık olarak aynı oran (%20) ve bunların toplamı %18'dir. Doğu Marmara ve Orta Doğu Anadolu ikinci en düşük orana (%5) sahiptir.

Kuru biyokütle enerjisinin eşdeğer potansiyeli için; Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Batı Anadolu en yüksek oranlara (%15) sahipken, Doğu Karadeniz en düşük orana (%1) sahiptir. İstanbul'un diğer bölgeye göre çok düşük miktara sahip olduğu, yüzdesinin %0'a tekabül ettiği açıkça görölmektedir. Ege ve Akdeniz de aynı yüzdelere sahiptir ve bunların toplamı %20'ye eşittir. Batı Marmara ve Batı Karadeniz de aynı oranlara sahip olup, Ege ve Akdeniz toplamı için yaklaşık olarak aynı oran (%20) ve bunların toplamı %18'dir. Doğu Marmara ve Orta Doğu Anadolu ikinci en düşük orana (%5) sahiptir.

Parfümeri, eczane bitkileri, yem bitkileri tohumu, şeker pancarı, patates, bakliyat, yenilebilir kökler ve yumrular ile biyokütle kaynağı olarak kullanılan tekstil hammaddeleri gibi bazı tarım ürünlerinin 2020 yılında bölgelere göre ekildikleri alan miktarları 78.520 hektardır. Ekilen alan miktarına bakıldığında Batı Karadeniz (%30), Ege (%20) ve Batı Anadolu (%20) bölgelerinin büyük oranda kuru biyokütle potansiyeline sahip olduğu görölmektedir.

Patates, kuru bakliyat, yenilebilir kökler ve yumru kökleri için toplam ekili alan 930.701 hektardır. Ekim yapılan alan miktarına bakıldığında 2020 yılında Güneydoğu Anadolu (%32), İç Anadolu (%21), Batı Anadolu (%14) ve Akdeniz (%11) bölgelerinin büyük oranda kuru biyokütle potansiyeline sahip olduğu görölmektedir.

Tekstil hammaddeleri için ekilen toplam alan 501.488 hektardır. Ekim yapılan alan miktarına bakıldığında 2020 yılında Güneydoğu Anadolu (%59), Ege (%21) ve Akdeniz (%20) bölgelerinin büyük oranda kuru biyokütle potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Biyokütle kaynağı olarak kullanılan yem bitkileri, şeker pancarı, hububat ve yağlı tohumlar gibi bazı tarım ürünlerinin 2020 yılında bölgelere göre ekildikleri 78.789 hektardır. Ekilen alan miktarına bakıldığında, Kuzeydoğu Anadolu (%21), Ortadoğu Anadolu (%16) ve Ege (%15) bölgelerinin büyük oranda kuru biyokütle potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Şeker pancarı için toplam ekili alan 338.886 hektardır. Ekilen alan miktarına bakıldığında 2020 yılında aynı oranlara sahip Batı Anadolu (%30) ve İç Anadolu (%30) bölgelerinin büyük oranda kuru biyokütle potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Tahıllar için toplam ekilen alan 11.093.438 hektardır. Ekim yapılan alan miktarına bakıldığında 2020 yılında Batı Anadolu (%18), İç Anadolu (%16) ve Güneydoğu Anadolu (%15) bölgelerinin büyük oranda kuru biyokütle potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Yağlı tohumlar için toplam ekilen alan 924.962 hektardır. Ekim yapılan alan miktarına bakıldığında 2020 yılında Batı Marmara (%42), Akdeniz (%16) ve Batı Anadolu (%13) bölgelerinin büyük oranda kuru biyokütle potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Türkiye ve bölgelerden temin edilen bazı tarım ürünlerinin (parfümeri, ecza bitkileri, şeker pancarı, yem bitkileri tohumu, patates, kuru bakliyat, yenilebilir kök ve yumrular ve tekstil hammaddeleri) ortalama kuru biyokütle miktarları ve bölgelerden elde edilen bazı tarım ürünlerinin (yem bitkileri, şeker pancarı, tahıllar ve yağlı tohumlar) ortalama kuru biyokütle miktarları incelendiğinde ortalama kuru biyokütle miktarı incelendiğinde parfümeri, eczane bitkileri, şeker pancarı, yem bitkileri tohumundan 2.166.698 ton kuru biyokütle, patatesten 25.594.278 ton kuru biyokütle, kuru bakliyat, yenilebilir kök ve yumru köklerden, 13.790.920 ton kuru biyokütle elde edilebilmektedir. Tekstil hammaddeleri, yem bitkilerinden 54.672.392,5 ton kuru biyokütle, şeker pancarından 9.319.365 ton kuru biyokütle, tahıllardan 305.069.545 ton kuru biyokütle ve yağlı tohumlardan 25.436.455 ton kuru biyokütle elde edilebilmektedir.

Türkiye ve bölgelerden temin edilen bazı tarım ürünlerinin (parfümeri, ecza bitkileri, şeker pancarı, yem bitkileri tohumu, patates, kuru bakliyat, yenilebilir kök ve yumrular ve tekstil hammaddeleri) ortalama kuru biyokütle enerji değerleri, Türkiye ve bölgelerden elde edilen bazı tarım ürünlerinin (yem bitkileri, şeker pancarı, hububat ve yağlı tohumlar) ortalama kuru biyokütle miktarları incelendiğinde 877.512,5 TEP kuru biyokütle enerjisinin parfümeri, eczane bitkileri, şeker pancarı, yem bitkileri tohumundan,

10.365.682 TEP kuru biyokütle enerjisinin patates, kuru bakliyat, yenilebilir kök ve yumrulardan, 5.585.323 TEP kuru tekstil hammaddelerinden biyokütle enerjisi, 22.142.318,96 yem bitkilerinden TEP kuru biyokütle enerjisi, şeker pancarından 3.774.343 TEP kuru biyokütle enerjisi, tahıllardan 123.553.165,7 TEP kuru biyokütle enerjisi ve 10.301.764 TEP kuru biyokütle yağlı tohumlardan enerji elde edilmektedir.

Türkiye ve bölgelerden temin edilen bazı tarım ürünlerinin (parfümeri, ecza bitkileri, şeker pancarı, yem bitkileri tohumu, patates, kuru bakliyat, yenilebilir kök ve yumrular ve tekstil hammaddeleri) eşdeğer kuru biyokütle enerjisi, Türkiye ve bölgelerden temin edilen bazı tarım ürünlerinin (yem bitkileri, şeker pancarı, tahıllar ve yağlı tohumlar) eşdeğer kuru biyokütle enerjisi sonuçları parfümeri, eczane bitkileri, şeker pancarı, yem bitkileri tohumundan 10.205,47 MW eşdeğer kuru biyokütle enerjisinin, patateslerden, kuru bakliyatlardan, yenilebilir köklerden ve yumru köklerden 120.552,9 MW eşdeğer kuru biyokütle enerjisinin elde edilebileceğini göstermektedir. Tekstil hammaddelerinden 64.957,3 MW eşdeğer kuru biyokütle enerjisi, 257.515,2 MW eşdeğer yem bitkilerinden kuru biyokütle enerjisi, 43.895,61 MW eşdeğer şeker pancarından, 1.436.923 MW eşdeğer tahıllardan kuru biyokütle enerjisi ve 119.809,5 MW eşdeğer yağlı tohumlardan kuru biyokütle enerjisi elde edilmektedir.

3.1.3. Hayvansal Gübre Ve Biyogaz Miktarları

Ülkemiz tarımsal üretimin yanı sıra hayvancılıkta da önemli bir yere sahiptir. Hayvancılığın büyük çoğunluğu inekler, koyunlar ve kümes hayvanları tarafından yapılmaktadır. Hayvancılıktan kaynaklanan atıkları enerjiye dönüştürmek için modern biyokütle teknolojilerinin kullanılması endişe vericidir. Hayvancılık ülkemiz ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Hayvancılık sektörü, endüstriyel girdi sağlanması, istihdam olanakları yaratılması, dış satışların artırılması, yeterli ve dengeli beslenme olanakları açısından önemli işlevleri yerine getirmektedir.

Biyogaz tesisleri tasarlanırken öncelikle kapasitenin belirlenmesi gerekir. Bu amaçla sadece hayvan dışkısı kullanılmalıdır; günlük gübre miktarı, hayvan besin maddeleri ve gübrelerin katalitik madde içeriği bilinmelidir (Kocer ve ark., 2006).

Biyokütle kaynağı olarak kullanılan farklı hayvan türlerinden elde edilen gübre miktarı genel olarak biyokütle kaynağı olarak büyükbaş, koyun ve keçi ve kümes hayvanları olmak üzere üç ana kaynak bulunmaktadır. Diğer iki türle kıyaslandığında en yüksek yüzdeye (%83) büyükbaş hayvan gübresinin sahip olduğu, kanatlıların ise çok düşük oranda (%1) sahip olduğu açıkça görülmektedir.

Hayvan sayısı	Hayvan türü	Islak gübre miktarı
1	Büyükbaş	3,6
1	Koyun ve keçi	0,7
1	Kanatlı	0,022

Tablo 3.3. Farklı hayvan türlerinden elde edilen gübre miktarı (YEGM,2021)

Farklı hayvan türlerinden elde edilen biyogaz miktarları Tablo 3.4'de gösterilmiştir. Genel olarak biyogaz kaynağı olarak sığır, koyun ve kümes hayvanları olmak üzere üç ana kaynak bulunmaktadır. Biyogazın kanatlılardan elde edilen oranının en yüksek yüzdeye (%46) sahip olduğu, en az oranın ise sığırların (%20) olduğu açıkça görülmektedir. Koyun aynı zamanda ikinci en büyük orana (%34) sahiptir.

Gübre türü	Gübre Miktarı	Elde edilen biyogaz miktarı (m ³ /yıl)
Sığır	1 Ton	33
Koyun	1 Ton	58
Kanatlı	1 Ton	78

Tablo 3.4. Farklı hayvan türlerinden elde edilen biyogaz miktarı (YEGM,2022)

Biyogaz kaynağı olarak kullanılan büyükbaş hayvanlar genel olarak, biyogaz kaynağı olarak manda, evcil sığır, melez sığır ve kültür sığırı olmak üzere dört farklı büyükbaş hayvan türü vardır. Kültür sığırları ile melez sığırların oranları hemen hemen aynı olmasına rağmen kültür sığırlarının en yüksek yüzdeye (%48) sahip olduğu görülmektedir. Ancak mandalar %1 ile en düşük orana sahiptir. Melez sığır ve evcil sığır sırasıyla %41 ve %10 ile ikinci ve üçüncü en büyük orana sahiptir (TÜİK, 2021a).

Biyogaz kaynağı olarak kullanılan koyun ve keçilerin iki ana türü ve dört farklı ırkı olmasına rağmen, Ankara keçilerinin diğer ırklara göre çok az sayıda olduğu, dolayısıyla onları ihmal edebileceğimiz açıkça görülmektedir. Yerli koyun en yüksek orana (%71) sahipken, merinos koyunu en düşük orana (%5) sahiptir. Sıradan keçiler de ikinci en büyük orana (%24) sahiptir (TÜİK, 2021a).

Beş farklı kanatlı hayvan türü olmasına rağmen kaz ve ördeklerin diğer türlere göre çok az, etlik piliçler en yüksek orana (%64), hindiler ise en düşük orana (%1) sahiptir. Yumurta tavukları da ikinci en büyük orana (%35) sahiptir (TÜİK, 2021a).

Türkiye'deki hayvan sayısına bağlı olarak yaş gübre ve biyogaz miktarları hesaplanmış ve farklı hayvan türlerinden elde edilen yaş gübre oranı genel olarak gübre

kaynağı olarak büyükbaş, koyun ve keçi ve kümes hayvanları olmak üzere üç ana kaynak bulunmaktadır. Büyükbaş hayvandan elde edilen yaş gübre oranının en yüksek yüzdeye (%60), en az ise kanatlı hayvanın (%8) sahip olduğu açıkça görülmektedir. Koyun ve keçi de büyükbaş hayvan oranının neredeyse yarısına eşit olan ikinci en büyük orana (%32) sahiptir.

Farklı hayvan türlerinden elde edilen biyogaz oranı genel olarak gübre kaynağı olarak büyükbaş, koyun ve keçi ve kümes hayvanları olmak üzere üç ana kaynak bulunmaktadır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanlardan elde edilen biyogaz oranlarının sırasıyla %44 ve %42 gibi hemen hemen aynı yüzdelere sahip olduğu açıkça görülmektedir. Ancak kümes hayvanları en az orana sahiptir (%14).

1 m³ biyogaz 4,70 kWh elektriğe eşdeğerdir (YEGM, 2021). Elde edilebilecek biyogaz miktarının kWh karşılığı hesaplanmış 1 m³ biyogaz, 0,66 litre motorin ve 0,75 litre eşdeğer yağa eşdeğerdir (YEGM, 2021). Elde edilebilecek biyogaz miktarı motorin ve yağ eşdeğerleri cinsinden hesaplandı. Biyogazın akaryakıt ve motorin eşdeğeri miktarları birbirinden farklı olmasına rağmen oranlarının aynı olduğu açıkça görülmektedir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvanlardan elde edilen biyogazın yağ ve motorin eşdeğerlik oranlarının %44 ve %42 ile hemen hemen aynı yüzdelere sahip olduğu, en az orana ise kanatlıların (%14) sahip olduğu görülmektedir. (TÜİK, 2021a).

3.1.4. Bölgelere Göre Hayvansal Gübre Ve Biyogaz Miktarları

Başlıca biyogaz kaynakları olarak büyükbaş, koyun ve keçi ve kümes hayvanları olmak üzere üç farklı hayvan türü bulunmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu 2021 yılı verilerine göre en yüksek yüzdeye kanatlıların (%85), en düşük orana ise büyükbaş hayvanların (%4) sahip olduğu açıkça görülmektedir. Koyun ve keçi de ikinci en büyük orana (%11) sahiptir.

Türkiye'deki en yüksek hayvan orana Ege (%16), en düşük orana ise İstanbul (%1) sahiptir. Kuzeydoğu Anadolu ve Batı Karadeniz sırasıyla %14 ve %11 ile ikinci ve üçüncü en büyük orana sahiptir. Batı Anadolu ve Güneydoğu Anadolu da aynı yüzdelere sahip olup, toplamı %18'dir. Batı Marmara ve Ortadoğu Anadolu da aynı oranlara sahip olup, bu oran Akdeniz için yaklaşık olarak aynı orandadır (%8) ve bunların toplamı Kuzeydoğu Anadolu'nun oranına eşit olan %14'e eşittir. Doğu Karadeniz ikinci en düşük orana (%3) sahiptir.

Koyun ve keçi için; Güneydoğu Anadolu en yüksek orana (%20) sahipken, Doğu Karadeniz ve Batı Karadeniz %1 ve %3 ile en düşük oranlara sahiptir. Bunların toplamı

Doğu Marmara'nın oranına eşit olan %4'e eşittir. İstanbul'un diğer bölgeye göre çok düşük miktara sahip olduğu, yüzdesinin %0'a tekabül ettiği açıkça görülmektedir. Orta Doğu Anadolu ve Akdeniz sırasıyla %16 ve %12 ile ikinci ve üçüncü en büyük orana sahiptir. Kuzeydoğu Anadolu ve Batı Anadolu da aynı oranlara sahip olup, bu oran Ege için yaklaşık olarak aynı orandadır (%11) ve bunların toplamı %20'dir ki bu da Güneydoğu Anadolu'nun oranına eşittir.

Kanatlılar için; Ege en yüksek orana (%30) sahipken, Kuzeydoğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu %1 ve %2 ile en düşük oranlara sahiptir. Bunların toplamı, Ortadoğu Anadolu ve İç Anadolu'nun oranına eşit olan %3'e eşittir. İstanbul'un diğer bölgeye göre çok düşük miktara sahip olduğu, yüzdesinin %0'a tekabül ettiği görülmektedir. Doğu Marmara ve Batı Marmara sırasıyla %26 ve %12 ile ikinci ve üçüncü en büyük orana sahiptir. Batı Anadolu ve Akdeniz de aynı oranlara sahiptir (%8), bu oran Batı Karadeniz için yaklaşık olarak aynıdır (%7)

1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 kcal/m³ olup, diğer yakıtlara etkin eşdeğerleri aşağıda verilmiştir.

1 m³ biyogaz = 4,70 kwh elektrik gücü = 0,62 litre gazyağı = 3,4 kg odun = 1,46 kg kömür = 0,43 kg bütan = 1,18 m³ doğal gaz = 0,66 litre motorin = 0,75 litre yağa eşittir.

Türkiye ve yörelerinde hayvan potansiyeline bağlı olarak üretilebilecek gübre (ton/yıl) ve biyogaz (m³/yıl) miktarları yukarıda belirtilen değerlere göre belirlenmiştir.

Türkiye ve bölgelerde büyükbaş hayvanlardan elde edilebilecek yaş gübre, biyogaz ve elektrik enerjisi üretim miktarları şu şekilde hesaplanmıştır;

Türkiye'de sığırlardan yılda yaklaşık 57,9 milyon ton yaş gübre elde edilmektedir. Gübre ve büyükbaş hayvan atık miktarlarına bakıldığında ise Ege (%16), Kuzeydoğu Anadolu (%14), Batı Karadeniz (%11) ve İç Anadolu (%10) bölgelerinin büyük oranda biyogaz potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Bu gübrelerden 1,9 milyar m³ biyogaz elde edilebileceği ve biyogaz miktarının 8.992.401 – 10.905.678 milyon kcal eşdeğer enerji potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Mevcut üretilen biyogaz, 8.992.401,759 kWh elektrik enerjisine eşdeğerdir.

Elde edilen biyogazın eşdeğerlerine bakıldığında 1.434.957.728 litre yağ, 1.186.231.721 ton kerosen, 1.262.762.800 litre motorin, 2.257.666.825 m³ doğalgaza denk gelmektedir, ayrıca 2.793.384.37 kg kömür ve 822.709.097,1 kg bütana eşdeğerdir.

Türkiye'de koyun ve keçiden yılda yaklaşık 31 milyon ton yaş gübre elde edilmektedir. Gübre ve büyük hayvansal atık miktarlarına bakıldığında Güneydoğu

Anadolu (%20), Ortadoğu Anadolu (%16), Akdeniz (%12) ve Ege (%11) bölgelerinin büyük oranda biyogaz potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Bu gübrelerden 1,7 milyar m³ biyogaz elde edilebileceği ve biyogaz miktarının 8.455.674 – 10.254.754 milyon kcal eşdeğer enerji potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Mevcut üretilen biyogaz, 8.455.674.613 kWh elektrik enerjisine eşdeğerdir.

Koyun ve keçiden elde edilen biyogazın eşdeğerlerine bakıldığında 1.349.309.779 litre yağ, 1.115.429.417 ton kerosen, 1.187.392.605 litre motorin, 2.122.914.052 m³ doğalgaza eşdeğerdir, ayrıca 2.626.656.369 kg kömür ve 773.604.273,1 kg bütana eşdeğerdir.

Türkiye'de kanatlılardan yılda yaklaşık 7,6 milyon ton yaş gübre elde edilmektedir. Gübre ve büyük hayvansal atık miktarlarına bakıldığında, Ege (%30), Doğu Marmara (%26), Batı Marmara (%12) ve Batı Anadolu ve Akdeniz (%8) bölgelerinin büyük oranda biyogaza sahip olduğu görülmektedir. Bu gübrelerden 597,4 milyar m³ biyogaz elde edilebileceği ve biyogaz miktarının 8.807.849 – 3.405.263 milyon kcal eşdeğer enerji potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Mevcut üretilen biyogaz, 2.807.849.005 kWh elektrik enerjisine eşdeğerdir.

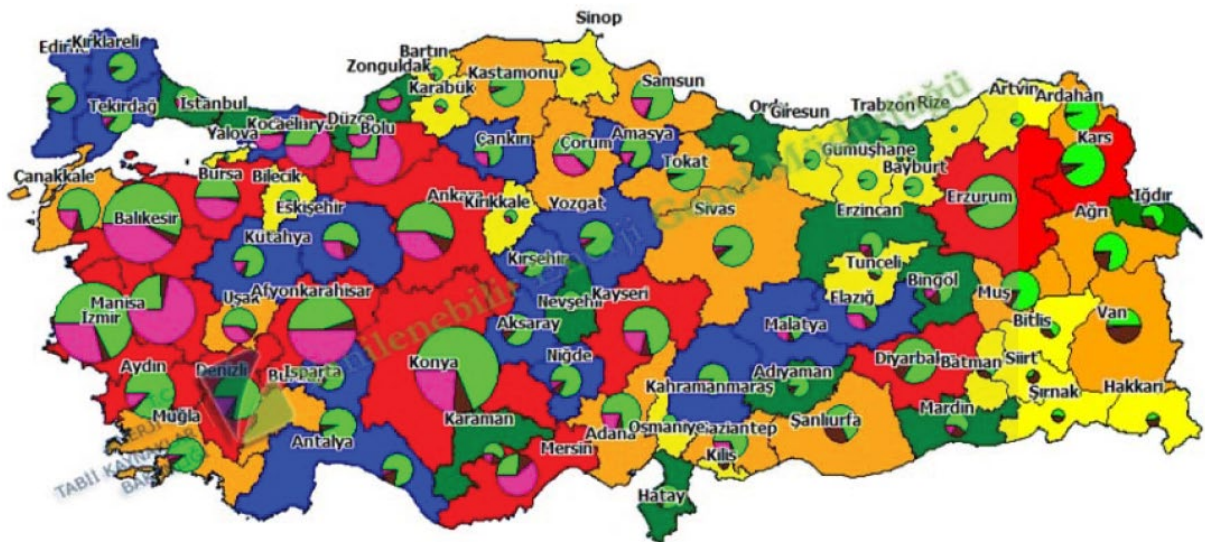
Kümes hayvanlardan elde edilen biyogazın eşdeğerlerine bakıldığında 448.061.011,4 litre yağ, 370.397.102,8 ton kerosen, 394.293.690 litre motorin, 704.949.324,6 m³ doğalgaza eşdeğerdir. 2.073.028.946 kg odun, 872.225.435,5 kg kömür ve 256.888.313,2 kg bütana eşdeğerdir.

Şekil 3.6 Türkiye genel haritasıdır. 7 ana bölge ve 12 alt bölge gösterir. Marmara Bölgesi, kişi başına elektrik tüketiminde, konut elektrik enerjisi tüketiminde ve sanayi kuruluşlarında ilk sırada yer almaktadır. Ege Bölgesi konut elektrik enerjisi tüketiminde, sanayi kuruluşları elektrik tüketiminde Marmara Bölgesi'nden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Akdeniz Bölgesi toplam enerji tüketiminde üçüncü sırada yer alırken, Karadeniz Bölgesi'nden sonra ormandaki varlığı ile ikinci sırada yer almaktadır. Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgelerinde kişi başına elektrik enerjisi tüketimi en azdır.(Cağal, 2013).



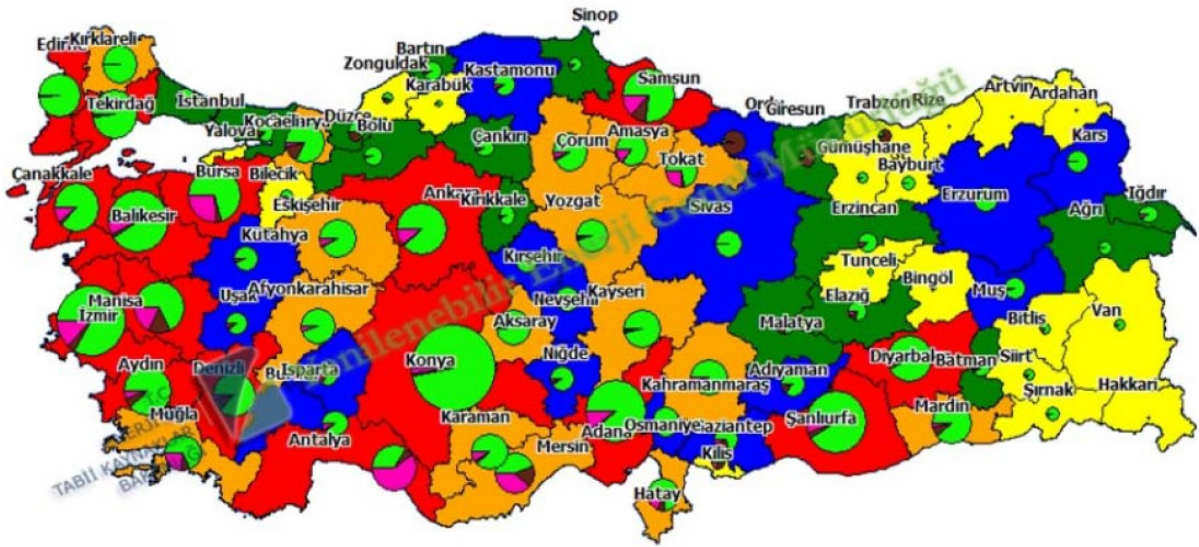
Şekil 3.6. Bölgelere ve güneş bölgelerine göre Türkiye haritası (Kulcu vd., 2015)

Şekil 3.7'ya göre dairelerdeki yeşil, kahverengi ve pembe renkler sırasıyla büyükbaş, koyun ve keçi ve kanatlılardan elde edilebilecek enerjiyi göstermektedir. Buna göre büyükbaş ve kanatlılardan elde edilen oranlar sırasıyla %67 ve %25, koyun ve keçiden elde edilen oran ise %8'dir. Doğu Anadolu bölgesi sığırlardan elde edilebilen biyogaz üretimi açısından yüksek bir ısı değere sahiptir. Karadeniz Bölgesi de Doğu Anadolu Bölgesi ile benzer özellikler göstermektedir. İç Anadolu Bölgesi'ne baktığımızda kanatlılardan elde edilen enerji Doğu Anadolu ve Karadeniz Bölgelerine göre çok daha fazladır. Akdeniz ve Ege Bölgelerinde biyogaz üretimine uygun olarak kanatlı, keçi ve koyun yetiştiriciliği yapılmaktadır. Kanatlı hayvancılığında ilk sırada yer alan Marmara Bölgesi, hayvansal atıklardan enerji üretimi kapsamında yararlanabilmektedir (Çağal, 2013).



Şekil 3.7. Hayvansal atıkların enerji değeri (TEP/yıl) (YEGM,2021)

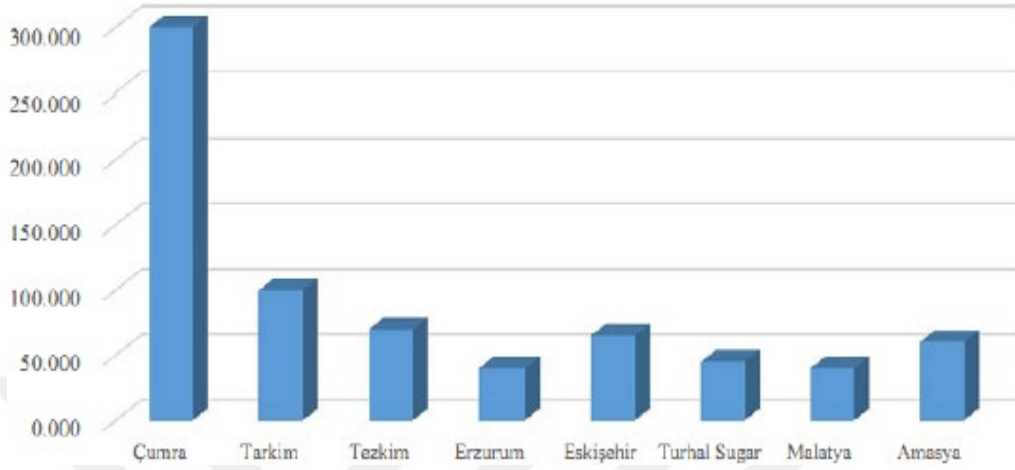
Şekil 3.8'ye göre dairelerdeki yeşil, kahverengi ve pembe renkler sırasıyla tarla, meyve ve sebzelerden elde edilebilecek enerjiyi göstermektedir. Buna göre tarladan ve sebzelerden elde edilen oranlar sırasıyla %84 ve %10, meyveden elde edilen oran ise %6'dır. Tarımsal biyokütlerde, Türkiye genelinde en fazla enerji tarla bitkilerinden elde edilebilmektedir. Marmara Bölgesi için biyokütle enerji üretimi bağlamında tahıl artıkları ve diğer bitkisel artıkları değerlendirmek mümkün olabilir. Ege Bölgesi'nde buğday, şeker pancarı ve arpa en önemli tarım ürünleri arasında yer almaktadır. Akdeniz Bölgesi için hububat ve diğer bitkisel ürünlerin ekili alanı çok yüksektir. Bitkisel ürünlerin ana ürünleri buğday, şeker pancarı, yağlı tohumlar ve arpadır. İç Anadolu Bölgesi'nin tarımsal biyokütle potansiyelinin büyük bir kısmını tarla bitkileri oluşturmaktadır. Karadeniz Bölgesi, Türkiye fındık üretiminde ilk sırada yer almaktadır. Bölgede üretilen fındığın önemli bir kısmı kabuksuz olarak yurt dışına ihraç edilmektedir. Isıl değeri yüksek olan fındığın alternatif enerji üretiminde biyokütle enerji üretimi kullanılabilir. Türk ormanlarının varlığı içinde en büyük paya sahip olan Karadeniz Bölgesi için bitkisel ürünlerin yanı sıra odunlar ve odun dışında ormanlarda elde edilen enerji de büyük önem arz edebilir. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde elverişsiz iklim koşulları nedeniyle, elde edilebilecek sebzelerin enerji değeri yok denecek kadar azdır (Cağal, 2013).



Şekil 3.8. Tarımsal atıkların enerji değeri (Tep/Yıl) (YEGM, 2021)

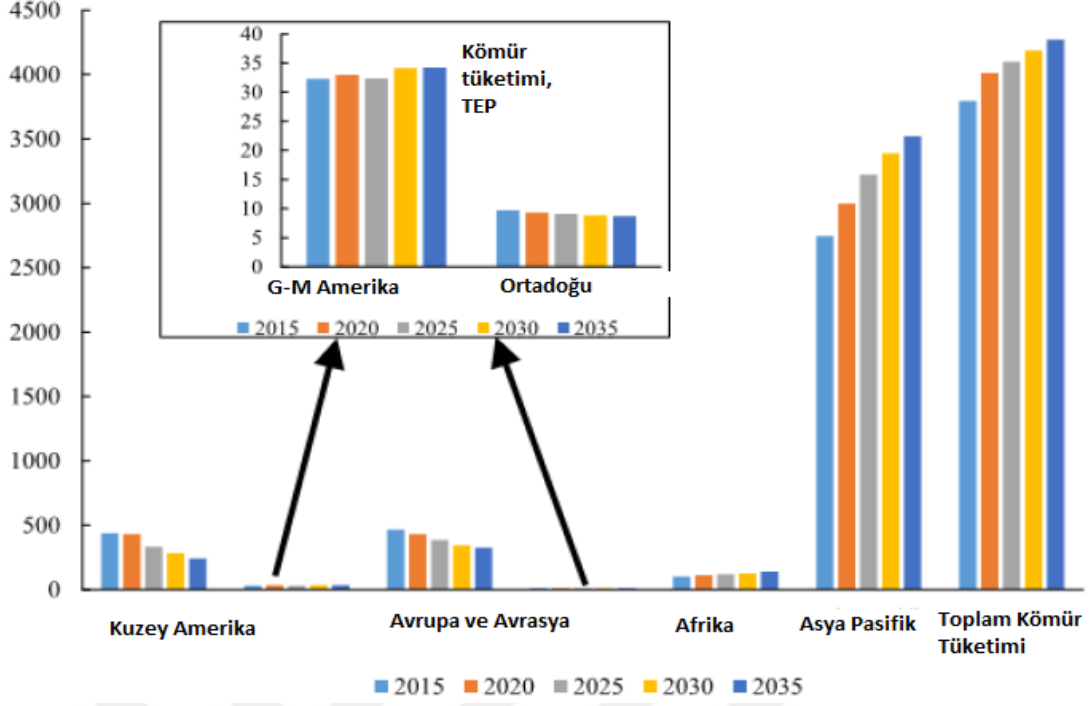
Özdingil ve Koçar (2018), biyoetanol üretiminde Türkiye'nin mevcut ve gelecekteki durumunu bildirmiştir. Biyoyakıt ve biyoetanol için artan talepler için teknolojik gelişmeler, tarım sektöründeki yenilikler ve iklim değişikliği olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. Şeker, Türkiye'nin çeşitli fabrikalarında biyoetanol üretiminde hammadde olarak çoğunlukla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye'nin biyoetanol

üretimi için kullanılan hammaddelerini çeşitlendirmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Lignoselülozik biyokütle malzemeleri bunun için çok iyi bir kaynaktır. Bu kaynağın kullanılması ile Türkiye'deki sera gazı emisyon miktarı önemli ölçüde azalacaktır.



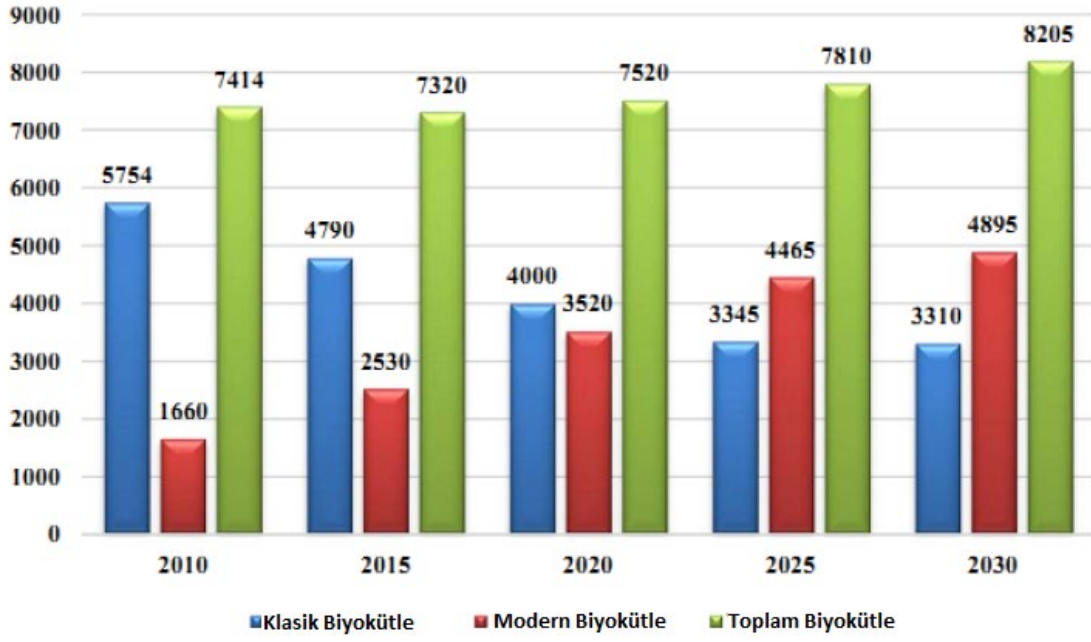
Şekil 3.9. Türkiye'deki Şeker fabrikalarında biyoetanolün mevcut potansiyeli (Özdingis ve Koçar, 2018)

Melikoğlu (2017), kömür ve biyokütle enerjisinde Türkiye'nin ve Dünyanın mevcut ve gelecekteki durumunu araştırmıştır. Dünya genelinde altı farklı bölge için kömür tüketiminin tahmini 2015-2035 yılları arasında Şekil 3.10 'de gösterilmektedir. Ayrıca, yeni bir teknoloji olan ve yaygın olarak kullanılmayan biyokütlenin kömürle birlikte yakılması ve birlikte gazlaştırılması konusunda araştırmalar yapmıştır. Türkiye'nin 2023 Vizyonu'na göre 2023 yılına kadar kömür santrallerinin kurulu gücü 15 GW'dan 30 GW'a, biyokütle santrallerinin kurulu gücü 2000 MW'a yükselmiş olacaktır. Türkiye, 2023 yılına kadar biyokütleden 2000 MW elektrik enerjisi üretmeyi hedeflemektedir. Türkiye'nin 2023'te biyokütle enerji hedefi olan bu değeri üretmek için 3,8 ile 13,6 milyar dolar arasında harcama yapması gerekiyor.

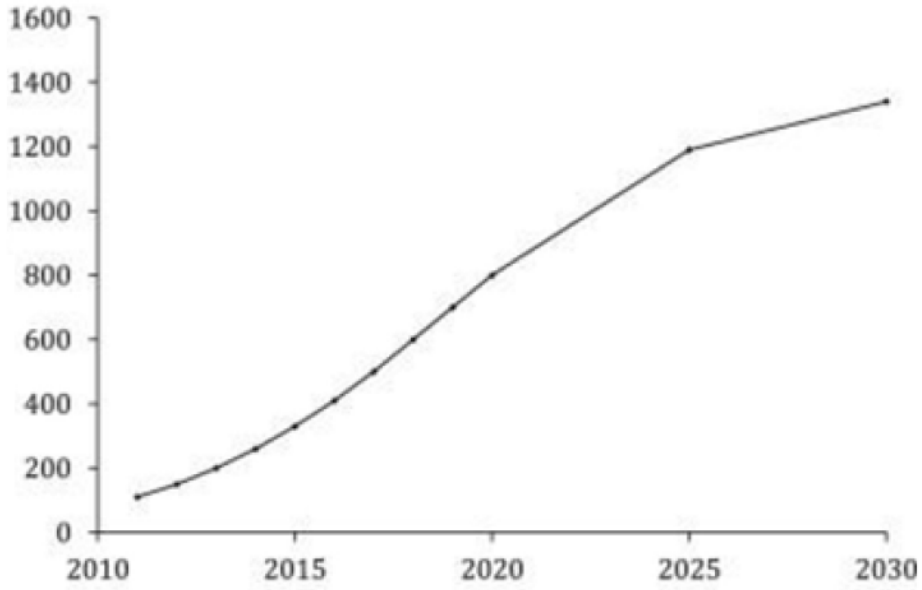


Şekil 3.10. Dünya genelinde ton eşdeğer petrol cinsinden toplam kömür tüketimi
(Melikoğlu, 2017)

Öztürk ve diğerleri (2017), Türkiye ve Malezya'nın biyoenerji fırsatları ve potansiyeli üzerinde çalıştı. Araştırmaya göre Türkiye yılda 1,5 milyon ton biyodizel, 3 milyon ton biyoetanol ve 2,5-4 milyar m³ biyogaz üretim kapasitesine sahip. Şekil 3.11, Türkiye'deki tahmini biyokütle enerji üretimini temsil etmektedir ve Türkiye'de toplam biyokütle üretiminin 2030 yılına kadar 52,5 Mtep seviyesine ulaşması beklenmektedir. Malezya ayrıca yılda yaklaşık 1 milyar m³ biyogaz üretiyor. Şekil 3.12. 2030 yılına kadar biyokütle kaynaklarından her yıl artan tahmini enerji hedefini göstermektedir. 2020 ve 2030 yılları arasında toplam biyokütle enerjisi üretiminin artacağı açıkça görülmektedir.

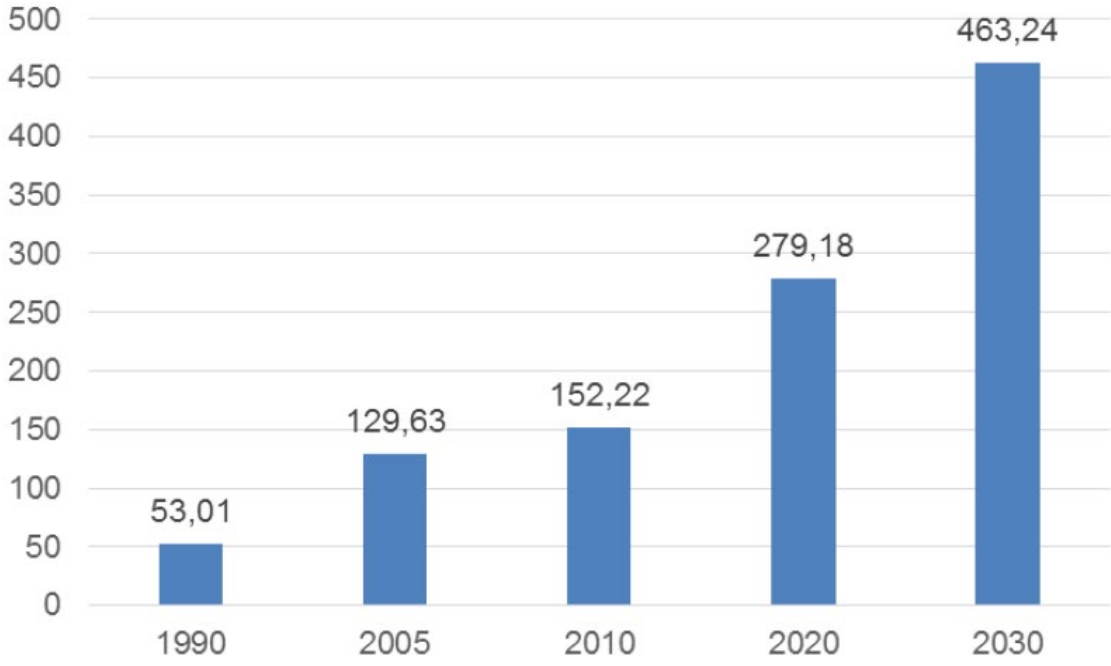


Şekil 3.11. Türkiye'deki tahmini biyokütle enerji üretimi (Öztürk vd.,2017)



Şekil 3.12. 2030 yılına kadar biyokütle kaynaklarından tahmini enerji hedefi(MW) (Öztürk vd, 2017)

Şekil 3.13, 2030 yılına kadar Türkiye'nin tahmini enerji ihtiyacını göstermektedir. Türkiye'nin enerji talebinin dört kat artacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 3.13. 2030 yılına kadar Türkiye için tahmini enerji ihtiyacı (Öztürk ve diğerleri,2017)

Öztürk ve Yüksel (2019) geliştirmekte olan ülkelerde fabrika üretimi, ulaşım ve günlük yaşam aktiviteleri nedeniyle artan fosil yakıtların hava kirliliği ve küresel ısınma üzerinde olumsuz etkileri olduğunu bildirmiştir. Ancak ülkelerin endüstriyel yapısı sürdürülebilir kalkınmanın çevre tarafından uzun vadeli desteklenmesi ekonomik ve çevresel olarak yaşam standardını geliştirmektedir. Bu nedenle çevre sorunlarına yönelik kamuoyu bilinci artırılmalı ve fosil enerji yerine temiz enerji kaynakları kullanılmalıdır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye'nin tarım kaynaklı ve hayvan kaynaklı biyokütlenin enerji potansiyeli araştırılmıştır. Tarım kaynaklı ve hayvan kaynaklı istatistiki veriler Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2021 yılı verilerinden elde edilmiştir. Tarımsal biyokütle kaynakları yağlı tohumlar, yenilebilir kök ve yumrular, tahıllar, kuru bakliyatlar, parfümeride, eczacılıkta veya benzeri amaçlarla kullanılan bitkiler olarak belirlenmiş ve yem bitkileri tohumu, yem bitkileri üretimi, tekstilde kullanılan hammaddelerin ortalama tarımsal biyokütle enerji potansiyelini MW olarak hesaplanmıştır. Hayvansal atık türleri de kümes hayvanları, koyun ve keçiler ve büyükbaş hayvanlar olarak belirlenmiştir.

Türkiye'de tarımsal kökenli kaynaklardan elde edilen biyokütle sonuçları aşağıdaki gibidir. Toplam ekili alan 15.856.351 hektar olup bu alandan 436.049.652,5 ton ortalama kuru biyokütle miktarı elde edilebilmektedir. Bu alanın ortalama kuru biyokütle enerji değeri 176.600.109,4 TEP'dir. Bu kuru biyokütle miktarı 2.053.858 MW enerjiye eşdeğerdir. Bölgesel olarak değerlendirildiğinde en büyük potansiyelin Batı Anadolu Bölgesi'nde olduğu görülmektedir. Bu bölge için; toplam ekili alan 2.451.271 hektar, ortalama kuru biyokütle miktarı 67.409.952,5 ton, ortalama kuru biyokütle enerji değeri 27.301.030,76 TEP ve bu kuru biyokütle 317.511 MW enerjiye eşdeğerdir.

Türkiye'de hayvansal kaynaklı kaynaklardan elde edilen biyokütle sonuçları aşağıdaki gibidir. Biyokütle kaynağı olarak kullanılan toplam hayvan sayısı 408.561.087 adettir. Türkiye'de mevcut hayvansal atık miktarı 96.655.868,19 tondur. Bu atıklardan 4.309.771.357 m³/yıl biyogaz elde edilebilmektedir. Bu biyogaz, 2.025592538 x 10¹⁰ kWh/yıl elektrik enerjisine, 3.232.328.518 litre/yıl petrole ve 2.844.449.096 litre/yıl motorine eşdeğerdir. Bölgeler hayvan türlerine göre incelendiğinde büyükbaş ve kanatlı hayvanlardan alınabilecek en yüksek değerler Ege Bölgesi'nden, küçükbaş hayvanlar (koyun ve keçi) Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden alınabilmektedir. Ege Bölgesindeki büyükbaş hayvanlardan elde edilen değerler aşağıdaki gibidir. Mevcut hayvansal atık miktarı 3.098.599 ton/yıl olup, 102.253.774 m³/yıl biyogaz elde edilebilmektedir. Bu biyogaz, 1.403.188.831 kWh elektrik enerjisine, 197.043.538 litre motorine ve 223.913.111 litre petrole eşdeğerdir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki küçükbaş hayvanlardan (koyun ve keçi) elde edilen değerler aşağıdaki gibidir. Mevcut hayvansal atık miktarı 6.190.790 ton/yıl'dır. 359.065.832 m³/yıl biyogaz elde edilebilir. Bu biyogaz, 1.687.609.409 kWh elektrik enerjisine, 236.983.449 litre motorine ve 269.299.374 litre

petrole eşdeğerdir. Ege Bölgesi'ndeki kanatlı hayvanlardan elde edilen değerler aşağıdaki gibidir. Mevcut hayvansal atık miktarı 2.266.109 ton/yıl'dır. 176.756.492,5 m³/yıl biyogaz elde edilebilir. Bu biyogaz, 830.755.515 kWh elektrik enerjisine, 116.659.285 litre motorine ve 132.567.369,4 litre petrole eşdeğerdir.

2021 TÜİK verilerine göre ülkemizde toplam 408.561.087 büyükbaş, küçükbaş ve kanatlının biyokütle kaynağı olarak değerlendirilebileceği gözlemlenmiştir. Bu hayvanların en büyük sorunu atıklarının bertaraf edilmesidir. Biyogaz üretimi ile bu sorunlar ortadan kaldırılabılır. Çünkü biyogaz üretimi hem atık bertarafını hem de enerji ihtiyacını sağlamaktadır. Oksijensiz fermantasyon sonucunda ortaya çıkan yan ürün depolanabilir ve zamanla yapısında bozulma olmaz ve zaman istendiğinde sahaya serilebilir.

Ülkelerin enerji rekabeti petrol tüketimine, küresel ısınmaya ve ekosistem bozulmasına neden olmuştur. Bu enerji yarışmalarında ülkemizin kendi enerji politikasını oluşturması gerekmektedir. Fosil yakıtların azalması, Dünya'nın ısınması ve ekosistemin ortadan kalkması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gerekiyor. Türkiye'deki genel enerji talebini karşılamak için mümkün olduğu kadar uzun süre kullanılacak yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Fosil yakıtlar, Türkiye'nin genel enerji talebinin karşılanmasında oldukça önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanışlı, uygulanabilir ve tükenmez bir kaynağa sahip olduğundan, çoğu ülke bu kaynakları kullanmaktadır.

Yenilenebilir enerji üretiminin temel amacı, çevreye daha az zararlı ve daha kaliteli faydaları düşük maliyetle sağlamaktır. Bu bağlamda örneklerden en iyi olanı biyokütledir. Biyokütleden enerji üretmenin yanı sıra faydalı bir son ürün elde edilebilecek, bitkisel ve hayvansal üretim artacaktır. Bu üretime bağlı olarak kırsal alanların ekonomik ve çevresel gelirleri artacak ve bu durumda kırsal alanlarda sosyal refah gözlemlenecektir.

Biyokütle enerjisi, tarımsal açıdan zengin olan ülkemizde enerji elde etmenin en iyi yollarından biridir. Bu çalışmada da görüleceği üzere, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygulanması, faydalı ve önemli bir potansiyele sahip olan biyokütleden biyogaz elde edilmesine iyi bir alternatiftir. Türkiye'de biyokütle ve biyokütle enerji potansiyeli konusunda çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların Türkiye'nin biyokütle potansiyeline önemli bir anlam ve değer kazandırdığı görülmektedir.

Günümüzde biyogaz teknolojisi, çevre sorunlarına neden olan atıkların işlenerek enerji üretiminde kullanılacak yenilenebilir enerji üretimi için önemli bir faktördür. Türkiye enerji ihtiyacının karşılanması ve enerji sorunu çözümünde tarım kaynaklı, hayvan kaynaklı ve evsel atıklar değerlendirilmelidir. Türkiye hayvansal atıklar açısından önemli

bir biyogaz potansiyeline sahiptir. Ancak bu büyük potansiyelin belirlenmesinin yanı sıra hayvansal atıkların doğal çevreye ve insan sağlığına herhangi bir tehlike oluşturmayacak şekilde bertaraf edilmesi de gerekmektedir. Biyogaz, evlerde yemek pişirmek, ısınmak ve aydınlatmak için kullanılabilmesi gibi, tesislere eklenebilen kojenerasyon ünitelerinin elektrik enerjisi, sıcak su ve sıcak hava elde edilmesi amacıyla da kullanılabilir.

Çalışmalarda öncelikle biyokütle potansiyelinin belirlenmesi ele alınmalı ve biyokütle materyallerinin çeşitleri yıllık miktar olarak belirlenmelidir. Bu konu stratejik bir durum olarak değerlendirilmelidir. Enerji üretimi amacıyla kullanılacak biyokütle malzemelerinin cinsine göre her coğrafi bölge için yıllık miktarlar belirlenmelidir. Bu amaçla enerji ormancılığı, enerji tarımı, yan ürünler ve atık veya molozlardan elde edilebilecek biyokütle miktarları araştırılmalıdır. Biyokütle enerji üretim stratejileri, uygulama olanakları ve ekonomik rekabet gücü araştırılmalı ve ülkemiz için uzun vadeli “Biyokütle Enerji Planı” yapılmalıdır. Biyogaz enerjisi, artan talepleri karşılayabilecek ve petrolün yerine kullanılacak önemli bir enerji kaynağıdır. Biyogaz alternatif bir enerji kaynağı olarak etkinleştirilerek fosil yakıtların kullanımını azaltılmalıdır. Biyogaz üretiminde hammadde ve çevre koşullarının yanı sıra biyogaz jeneratörlerinin tasarımı da gaz üretiminde etkilidir. Bu nedenle en fazla gaz üretebilen, sürekli ve ucuz üretim yapabilen jeneratör tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Biyogaz üretiminin maliyet analizi yapılmalıdır. Organik atıklardan enerji üretimine yönelik araştırma geliştirme faaliyetleri artırılmalı ve teknolojik gelişmeler oluşturulmalıdır.

Enerji ormancılığında elde edilebilecek biyokütle alanında, ormanlık alanlar dışında odun verimleri yetiştirilebilir ve kısa ağaç türlerinin büyüme periyodu belirlenmelidir. Bu ağaç türleri her coğrafi bölge için ayrı ayrı belirlenerek verim, enerji maliyetleri ve yetiştirme teknikleri belirlenmelidir. Biyokütle enerji üretim stratejileri, uygulama olanakları ve ekonomik rekabet araştırılmalı ve ülkemiz için uzun vadeli bir plan yapılmalıdır. Bu plan kapsamında enerji ormancılığı ve enerji santralleri için ülke çapında bir çalışma yapılmalıdır.

Modern biyokütle üretim yöntemleri ve dönüşüm teknolojileri için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmalı, desteklenmeli ve uygulanmalıdır. Endüstriyel tesislerde ve termik santrallerde yüksek verimle yakılacak katı yakıt olarak kullanılmak üzere özel akışkan yataklı kazanlar geliştirilmelidir. Bunun için bu teknolojiye gelişmiş ülkeler takip edilmeli, araştırma geliştirme programları izlenmeli ve bu ülkelere yetiştirilmek üzere öğrenciler gönderilmelidir.

İklim değişikliklerinin önemli olduğu, temiz ve verimli enerji kullanımının ön plana çıktığı bir dönemde enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Sanayileşme ile birlikte çevre sorunları sadece kaynakların tüketimi ile değil, aynı zamanda bu kaynakların ne şekilde tüketildiğı veya ne kadar geri kazanılabileceğı ile de ilgili. Bu bağlamda tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel kaynaklı organik atıkların yeteri kadar değerlendirilememesi önemli bir sorun olsa da bu alandaki gelişmeler umut vericidir.



KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., and Aydoğan, H.,** (2017). Biyoyakıt Enerji Kaynakları ve Türkiye'nin Biyoyakıt Enerjisi Geleceği, *Biyokütle ve Biyoenerji*, 36:69-76.
- Anonim,** (2007). Hidrolik ve Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu *Biyokütle Enerjisi Alt Çalışma Grubu Raporu*, Ankara.
- Artok, L. ve Schobert, H.H.,** (2000). Karboksilik Asitlerin Kömür Sıvılaştırma Koşulları Altında Reaksiyonu: *1. Azot Atmosferi Altında, Analitik ve Uygulamalı Piroliz Dergisi*, 54 (1-2): 215-233.
- Aybek, A., Üçok, S., Bilgili, M.E. ve İspir, M.A.,** (2015). Kahramanmaraş'ta Bazı Tarımsal Atıkların Dijital Haritalarının Oluşturulması ve Biyogaz Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2):25-37.
- Balat, M.,** (2015). Türkiye'de Enerji için Biyokütle Kaynaklarının Kullanımı ve Biyokütle Potansiyeline Bakış, *Biyokütle ve Biyoenerji*, 29:32-41.
- BEPA** (Türkiye Biyolojik Enerji Potansiyeli Atlası), Erişim Tarihi: 04.03.2021 <http://bepa.yegm.gov.tr/>,
- Boyacı, S.,** (2017). Kırşehir İli Hayvan Atıklarından Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi, *Türkiye Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(4): 447- 455.
- Çağal, F.E.,** (2012). Biyokütle Enerji Potansiyelinin Türkiye Odaklı Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul*, 64s.
- Doğan, M.,** (2000). Enerji Kaynakları-Standart Çevre Sorunları ve Çevre Dostu Alternatif Enerji Kaynakları Dergisi, 39 (468): 28-36.
- EPDK** (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu). Elektrik Piyasası Gelişim Raporu 2021 Erişim Tarihi: 17.10.2021, 110s. [http://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0 - 24/ yıllık-sektör-raporu](http://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/yillik-sektor-raporu),
- Demirci, T., Yeşilyurt, M.K., Gökdoğan, O. ve Yumak, B.,** 2017. Türkiye'de Hayvansal Atıklardan Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi: *Yozgat İli için Bir Vaka Çalışması, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* Cilt. 2(4):106-111.
- ETKB** (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), 2020 Faaliyet Raporu. Erişim Tarihi: 06.10.2021, 168s <http://www.enerji.gov.tr> ,

- Ganesh, A. ve Banerjee, R.,** (2001). Enerji Üretimi için Biyokütle Pirolyzi-*Potansiyel Bir Teknoloji, Yenilenebilir Enerji*, 22 (1-3): 9-14.
- Goyal, H.B., Seal, D. ve Saxena, R.C.,** (2008). Yenilenebilir Kaynakların Termokimyasal Dönüşümünden Biyoyakıtlar: *Gözden Geçirme, Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 12 (2): 504-517.
- Guo, M., Song, W. ve Buhain, J.,** (2015). Biyoenerji ve Biyoyakıtlar: *Tarih, Durum ve Perspektif, Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 42: 712-725.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W. ve Wiese, A.,** (2007). Yenilenebilir Enerji: *Teknoloji, Ekonomi ve Çevre, Springer Berlin Heidelberg, New York*.
- Koçer, N.N., Öner, C. ve Sugözü, I.,** (2006). Türkiye'nin Kale İşlem Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi, Fırat Üniversitesi, Doğu Anadolu Araştırmaları Merkezi, Doğu Anadolu Araştırmaları, 17-20, Elazığ.
- Kulcu, R., Ekinci, K., Evrendilek, F. ve Ertekin, C.,** (2010). Türkiye'de hayvancılık ve kümes hayvancılığında kaynaklanan CH₄ ve N₂O emisyonlarının uzun vadeli mekansal örüntüleri, *Çevresel İzleme ve Değerlendirme*, 167:545-558.
- Melikoğlu, M.,** (2017). Vizyon 2023: *Türkiye'de Sürdürülebilir Enerji Üretimi için Biyokütle ve Kömürün Statükosu ve Geleceği, Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 74:800-808.
- Özdingiş, A.S.B. ve Koçar, G.,** (2018). Türkiye'de Biyoetanol Üretimi ve Kullanımının Güncel ve Gelecekteki Yönleri, *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 81:2196-2203.
- Öztürk, M., Sabab N., Altay V. R. İkbald, Hakeem K. R., Cevaid M. ve İbrahim F.H.,** (2017). Biyokütle ve Biyoenerji: Türkiye ve Malezya'daki Kalkınma Potansiyeline Genel Bakış, *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 79:1285-1302.
- Öztürk, M. ve Yüksel, Y.E.,** (2016). Sürdürülebilir Kalkınma için Türkiye'nin Enerji Yapısı, *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri*, 53:1259-1272.
- Sancak, Z.A., Sancak, K., Demirtaş, M., D., Aygören, E., Geri kalanlar A.Ş. ve Arslan, P.,** (2014). Üretilen Biyogaz Üretim Potansiyeli Türkiye'de Büyükbaş Hayvan Atıkları, *XI. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi*, 3-5 Eylül 2014, Samsun.

- Saka, K., Yılmaz, H.I., andre O.,** (2016). Marmara Bölgesi'nin Faunal Biyokütle Potansiyeli, *10. Uluslararası Temiz Enerji Sempozyumu*, 24-26 Ekim 2016, İstanbul, Türkiye.
- SBB** (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Müdürlüğü), 2018-2020 Orta Vadeli Plan. Erişim Tarihi: 17.10.2018, 66s. [http://www.sbb.gov.tr/Lists/OrtaVadeliProgramlar/Attachments/14/Medium_Term_Programme_\(2018-2020\).pdf](http://www.sbb.gov.tr/Lists/OrtaVadeliProgramlar/Attachments/14/Medium_Term_Programme_(2018-2020).pdf),
- Şenol, H., Elibol, E.A. ve Açık, U.,** (2017). Türkiye'de Kanatlı Hayvanlardan Biyogaz ve Elektrik Enerjisi Üretme Potansiyeli, 2017, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1):1-11
- Şensöz S., Amiral, I. ve Gerçek, H.F.,** (2016). Zeytin Küspesi (*Olea Europea L.*) *Piroliz, Biokütle Teknolojisi*, 97:429-436.
- Singh, J.,** (2016). Hindistan'da Bölgesel Bazda Tarımsal Samana Dayalı Ekonomik Enerji Üretim Sisteminin Belirlenmesi, *Yenilenebilir ve Sürdürülebilir Enerji İncelemeleri* 60:1140-1155.
- TEİAŞ** (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi) Erişim Tarihi: 21.10.2018. <https://www.teias.gov.tr/en/electricity-statistics-turkish>
- Topal, M. ve Arslan Topal, E.I.,** (2012). Bitkisel Bitkilerden Elde Edilen Biyokütle Enerjisinin Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Potansiyelinin Belirlenmesi: Afyonkarahisar İli Örneği (2006-2010), *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12 025401:1-11.
- TSİ** (Türkiye İstatistik Kurumu), 2021a. Erişim Tarihi: 04.03.2018. Tarım ve Hayvancılık İstatistikleri.
- TSİ** (Türkiye İstatistik Kurumu), 2021b. Erişim Tarihi: 11.10.2018. Tarım ve Hayvancılık İstatistikleri.
- Türkoğlu Elitaş, M.N.,** (2016). Türkiye'de Biyokütle Enerji Kaynaklarının Araştırılması ve OECD Ülkeleri ile Karşılaştırılması, (Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü, Karabük, 30-33.
- Yang, W., Hu, C., Pan, P., Li, Y., Dong, L., Zhu, L., Tong, D., Qing, R. ve Fan, Y.,** (2010). Nannochloropsis sp'nin Doğrudan Pirolizi ve Katalitik Pirolizi.

Yenilenebilir Biyo-yağlar için Kalıntı, Bioresource Teknolojisi, 101:4593-4599

Yanık, J., Kornmayer, C., Sablam, M. ve Yüksel, M., (2007). Tarımsal Atıkların Hızlı Pirolizi: *Piroliz Ürünlerinin Karakterizasyonu, Yakıt İşleme Teknolojisi, 88: 942-947.*

YEGM (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü), Erişim Tarihi: 14.09.2021
<http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle.aspx> ,



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :M. Hüseyin ERCAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2022, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri, Enerji Bilimi ve Teknolojileri