



T.C.

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ

SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

**AKSARAY İLİ HAYVANSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ
POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice ET YAPILCAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hülya BAKIRTAŞ

Aksaray 2021

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

AKSARAY İLİ HAYVANSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ
POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hatice ET YAPILCAN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hülya BAKIRTAŞ

Aksaray 2021

TELİF HAKKI VE TEZ FOTOKOPİ İZİN FORMU

Bu tezin tüm hakları saklıdır. Kaynak göstermek koşuluyla tezin teslim tarihinden itibaren(....) ay sonra tezden fotokopi çekilebilir.

YAZARIN

Adı : Hatice

Soyadı : ET YAPILCAN

Bölümü : Yönetim Bilişim Sistemleri

İmza :

Teslim tarihi :

TEZİN

Türkçe Adı : Aksaray İli Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirmesi

İngilizce Adı: Evaluation of Biogas Potential from Animal Waste in Aksaray Province

ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI

Tez yazma sürecinde bilimsel ve etik ilkelere uyduğumu, yararlandığım tüm kaynakları kaynak gösterme ilkelerine uygun olarak kaynakçada belirttiğimi ve bu bölümler dışındaki tüm ifadelerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim.

Yazar Adı Soyadı: Hatice ET YAPILCAN

İmza:

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JÜRİ ONAY SAYFASI

Hatice ET YAPILCAN tarafından hazırlanan “**Aksaray İli Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Değerlendirilmesi**” başlıklı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Aksaray Üniversitesi Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hülya BAKIRTAŞ

İmza

Yönetim Bilişim Sistemleri/Aksaray Üniversitesi

.....

Üye: Prof. Dr. Süleyman ERSÖZ

Endüstri Mühendisliği/Kırıkkale Üniversitesi

.....

Üye: Doç. Dr. Melayib BİLGİN

Çevre Mühendisliği/Aksaray Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 09/08/2021

Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu’nuntarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Öğrencinin Adı Soyadı

Hatice ET YAPILCAN

İmza

Sosyal Bilimler Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Sevilay USLU DİVANOĞLU

İmza

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamın her aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen ve bana yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hülya BAKIRTAŞ'a, değerli fikirleri ile katkı sağlayan jüri üyelerine teşekkür ederim. Beni her zaman destekleyen ve yanımda olan eşim ve aileme şükranlarımı sunarım.



AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
AKSARAY İLİ HAYVANSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ
POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hatice ET YAPILCAN, Aksaray 2021

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte insanoğlunun artan enerji gereksinimi, tüm dünyada enerji politikalarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Ülkemiz konumu itibariyle güneş, jeotermal, rüzgâr ve biyogaz gibi enerji kaynakları bakımından zengin bir potansiyele sahiptir. Özellikle tarım ve hayvancılık sektörünün yaygınlığı, tarımsal atık ve hayvansal atıklardan biyogaz enerji üretiminin enerji talebini karşılamada kullanılabilir enerji kaynağı olabileceğine işaret etmektedir. Bu araştırmada Aksaray ilinin biyogaz potansiyeli incelenmek amaçlanmıştır. Araştırma verileri, TÜİK ve T.C. Tarım ve Orman Bakanlığından elde edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonrasında Aksaray'ın hayvan gübresi kaynaklı biyogaz üretim miktarı 102 092 700 m³/yıl ve hayvan gübrelerinden toplamda elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli 479 835 690 kWh/yıl'dır. Ayrıca çalışmada hayvansal atıklardan elde edilecek biyogazın ısı değerlerine ilişkin detaylı incelemeler gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu : 90 302, 90 332, 114 702

Anahtar Kelimeler : Anaerobik Fermantasyon, Aksaray, Enerji, Yenilenebilir Enerji, Biyogaz, Hayvansal Atık.

Sayfa Sayısı : 91

Danışman : Prof. Dr. Hülya Bakırtaş

AKSARAY UNIVERSITY
SOCIAL SCIENCES INSTITUTE
EVALUATION OF BIOGAS POTENTIAL FROM ANIMAL WASTE
IN AKSARAY PROVINCE

(M.A. Thesis)

Hatice ET YAPILCAN, Aksaray 2021

ABSTRACT

The increasing energy need of human beings with the developing technology has directed energy policies to renewable energy sources on a global scale. Our country has rich potential in terms of energy resources such as solar, geothermal, wind, and biogas due to its location. In this respect, especially the prevalence of agriculture and livestock sector shows that biogas energy production from agricultural and animal wastes can be a usable energy source to cover the energy demands. The purpose of the present study was to examine the biogas potential of the city of Aksaray. The data were provided by TUIK and R. T. Ministry of Agriculture and Forestry in the study. As a result of the calculations, it was found that the biogas production amount of Aksaray that originates from animal manure is 102 092 700 m³/year, and the total electrical energy potential, which can be obtained from animal manure, is 479 835 690 kWh/year. In addition, detailed investigations were also performed in the study on the thermal values of the biogas to be obtained from animal wastes.

Science Code : 90 302, 90 332, 114 702

Keywords : Anaerobic Fermentation, Aksaray, Energy, Renewable Energy, Biogas, Animal Waste.

Page Number : 91

Supervisor : Prof. Dr. Hülya Bakırtaş

İÇİNDEKİLER

TELİF HAKKI VE TEZ FOTOKOPİ İZİN FORMU	i
ETİK İLKELERE UYGUNLUK BEYANI.....	ii
JÜRİ ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
RESİMLER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KAVRAMSAL VE TARİHSEL PERSPEKTİFTEN BİYOGAZ

1.1. Enerji ve Enerji Kaynakları	3
1.1.1. Türkiye’de Enerji Kaynakları.....	5
1.1.2. Dünyada Enerji Kaynakları	8
1.1.3. Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	10
1.2. Yenilenebilir Enerji Türü Olarak Biyogaz	13
1.2.1. Biyogaz Kavramı ve Özellikleri.....	14
1.2.2. Biyogazın Tarihsel Gelişimi.....	16
1.2.3. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Karakteristikleri.	17

1.2.3.1. Gıda Atıkları.....	17
1.2.3.2. Bitkisel Atıklar.....	18
1.2.3.3. Hayvansal Atıklar.....	19
1.2.3.4.Kanalizasyon Atıkları.....	20
1.2.4. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Teknolojiler	21
1.2.4.1. Kesikli Fermantasyon.....	21
1.2.4.2. Beslemeli Fermantasyon	22
1.2.4.3. Sürekli Fermantasyon.....	22
1.2.5. Biyogaz ve Yan Ürünlerin Kullanılması.....	22
1.2.5.1. Biyogazın Kullanılması.....	23
1.2.5.2. Yan Ürünlerin Değerlendirilmesi.....	24
1.2.6. Biyogaz Üretimi ve Potansiyeli.....	26
1.2.6.1. Türkiye'de Biyogazın Genel Görünümü.....	26
1.2.6.2.Dünya'da Biyogazın Görünümü.....	28
1.2.7. Biyogaz Üzerine Yapılmış Çalışmalar	31

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal.....	36
2.1.1. Aksaray İli Coğrafi Konumu.....	36
2.1.2. Aksaray İli Genel Tanıtımı.....	37
2.1.3. Aksaray İli İşletme Dağılımı	40
2.1.4. Aksaray İli Hayvansal Üretim Dağılımı	41
2.1.4.1.Aksaray İli Büyükbaş Hayvan Sayısı.....	42
2.1.4.2.Aksaray İli Küçükbaş Hayvan Sayısı.....	44
2.1.4.3.Aksaray İli Kanatlı Hayvan Sayısı.....	45
2.2. Yöntem.....	46

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Aksaray İli Biyogaz Potansiyeli ve Isıl değerleri.....	50
3.1.1. Aksaray İli Büyükbaş Hayvan Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Hesaplanması.....	50
3.1.2. Aksaray İli Küçükbaş Hayvan Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Hesaplanması.....	53
3.1.3. Aksaray İli Kanatlı Hayvan Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Hesaplanması.....	56
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKÇA.....	61
EKLER.....	71
EK-1 TÜRKİYE'DE FAALİYET GÖSTEREN BİYOGAZ TESİSLERİ	72
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ TEZ DEĞERLENDİRME FORMU.....	75

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. 2019 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.....	7
Tablo 1.2. Biyogazın ana bileşenleri.....	14
Tablo 1.3. Bitkisel atıklardan biyogaz verim oranları	19
Tablo 1.4. Hayvansal kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri	20
Tablo 1.5. Biyogaz üzerine yapılan çalışmalar	32
Tablo 2.1. İlçelere göre işletme sayısı ve hayvan miktarı.....	41
Tablo 2.2. Aksaray ili büyükbaş hayvan sayısının ilçelere göre dağılımı	43
Tablo 2.3. Aksaray ili küçükbaş hayvan sayısının ilçelere göre dağılımı	44
Tablo 2.4. Aksaray ili tavuk sayısının ilçelere göre dağılımı	45
Tablo 3.1. Büyükbaş hayvan gübresinden elde edilecek biyogaz miktarı	50
Tablo 3.2. Büyükbaş hayvancılıktan elde edilecek biyogaz ısı değerleri.....	52
Tablo 3.3. Küçükbaş hayvan gübresinden elde edilecek biyogaz miktarı	53
Tablo 3.4. Küçükbaş hayvancılıktan elde edilecek biyogaz ısı değerleri.....	55
Tablo 3.5. Kanatlı hayvan gübresi miktarı ve bu gübre ile elde edilen biyogaz miktarı	56
Tablo 3.6. Kanatlı hayvancılıktan elde edilecek biyogaz ısı değerleri	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. 2009 ve 2019 Yılları için birincil enerji kaynaklarına göre türkiye kurulu gücü ..	6
Şekil 1.2. Türkiye’de enerji üretim miktarının yıllar itibariyle gelişimi.....	7
Şekil 1.3. Ülkelere göre küresel enerji tüketimi	8
Şekil 1.4. Küresel enerji talebinin yıllar içerisinde değişimi	9
Şekil 1.5. Biyogaz üretim tesisi.....	25
Şekil 1.6. Dünya’da biyogaz üretimi	29
Şekil 2.1. Aksaray ilinin Türkiye’deki konumu.....	37
Şekil 2.2. Aksaray ilçeleri.....	37
Şekil 2.3. Son 5 yıl içerisinde Aksaray’da yetiştirilen büyükbaş hayvan sayısının yıllara göre dağılımı.....	43
Şekil 2.4. Son 5 yıl içerisinde Aksaray’da yetiştirilen küçükbaş hayvan sayısının yıllara göre dağılımı.....	45
Şekil 2.5. Son 5 yıl içerisinde Aksaray’da yetiştirilen kanatlı hayvan sayısının yıllara göre dağılımı.....	46
Şekil 2.6. Araştırma adımları	49

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1. Güneş enerji panelleri	11
Resim 1.2. Biyogaz üretim santrali.....	15
Resim 2.1. Dünyanın en büyük ikinci kanyonu Ihlara Vadisi	38
Resim 2.2. Tuz Gölü	39
Resim 2.3. Hasan Dağı.....	39
Resim 2.4. Taşpınar Halısı Üretimi	40

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AB ETS	Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi
BM	Birleşmiş Milletler
C	Karbon
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
ÇSB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EMEC	Avrupa Okyanus Enerjisi Merkezi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FAO	Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlas
GJ	Giga Joule
GW	Giga Watt
GWEC	Küresel Rüzgâr Enerjisi Konseyi
GWh	Giga Watt saat
H	Hidrojen
ISO	Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu
K	Potasyum
Kcal	Kilo kalori
Kg	Kilogram
km ²	Kilometrekare
KWh	Kilo Watt saat
m ³	Metreküp
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MJ	Mega Joule
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MW	Mega Watt
MWh	Mega Watt saat
MWm	Mega Watt mekanik güç
N	Azot
O	Oksijen
OECD	Ekonomik kalkınma ve İşbirliği Örgütü
P	Fosfor
pH	Hidrojenin gücü
PJ	Petajoule
ppm	Milyonda bir
REC	Kaynak, Çevre ve İklim Derneği
S	Kükürt
t.y.	Tarih yok
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
TÜREB	Türkiye Rüzgâr Enerji Birliği
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
WWF	Doğal Hayatı Koruma Vakfı
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

GİRİŞ

Dünya nüfusunun giderek artması, sanayileşmede yeni bir boyuta geçilmesi ve toplumun geleneksel yaşam şartlarından kurtularak yaşam standartlarını yükseltmek istemesi, her geçen gün enerji ihtiyacını artırmaktadır. Bütün gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi ülkemizin de gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşabilmesi için kendi enerjisini üretmesi gerekmektedir. Günümüzde fosil yakıtların tükenme eğilimine girmesi araştırmacıları tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. (Topaloğlu ve İmren, 2011).

Avrupa Birliği (AB), 1990 yılında üretilen sera gaz emisyon seviyesini baz alarak, sera gazının salınımını %80-95 oranında azaltmayı, 2050 yılına gelindiğinde ise Dünya nüfusunun sera gazına maruz kalmasını engellemeyi amaçlamaktadır. Bu amaca enerji piyasasını %100 yenilenebilir ve sürdürülebilir enerjiye dönüştürme yolu ile ulaşılabilir (Olabi, 2016).

Ülkeler, enerji açığını karşılamak için biyoenerji çalışmalarına yönelmiştir. Biyoenerji, ekonomik ve çevresel anlamda pozitif yönleri ile göz önüne alındığında, dünyada büyük enerji kaynakları arasında dördüncü sırada yer almaktadır. Bu nedenle biyoenerji konusuna talep her geçen gün artmaktadır. Gelişmiş ülkelerin büyük bir çoğunluğu biyoenerjiyi geleceğin en önemli kaynağı olarak görmektedir. Çin, Hindistan ve Nepal gibi ülkelerde biyogaza oldukça önem verilmektedir. Avrupa ülkelerinde ise biyogaz, 1970’li yıllardan sonra yaygınlaşmaya başlamıştır (Özçelik, 2020).

Günümüzde enerji üretiminde dışa bağımlılık oranı yüksek olan ülkemiz için yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı kaçınılmazdır. Türkiye’de tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olarak yapılması nedeni ile Türkiye biyogaz üretimi için uygun bir ülkedir. Fakat ülkemizde bulunan biyogaz santrali sayısına bakıldığında bu enerji türüne verilen önemin yetersiz kaldığı görülmektedir (Ergişi, 2019). Enerji sektöründe dışa bağımlılığı azaltmak, hayvansal atıkların çevreye zarar vermeden değerlendirilmesini sağlamak için mevcut potansiyelin iller bazında belirlenmesi gerekmektedir (Aksu, 2019).

Bu çalışmanın amacı, biyogazı kavramsal olarak incelemenin yanı sıra Aksaray ilinin hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelini ortaya çıkarmaktır. Aksaray ili Merkez ve ilçeleri temelinde biyogaz potansiyel değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca biyogaz potansiyelinin her bir ilçe temelinde enerji eş değeri incelenmiştir. İlgili literatür incelendiğindei Aksaray ilinin biyogaz potansiyelinin incelendiği herhangi bir çalışmaya rastlanılmaması ve nüfusun %70'inin tarım ve hayvancılıktan geçimini sağlaması bu çalışmanın itici gücü olmuştur. Bu durum, çalışmanın önemini de ortaya koymaktadır.

Çalışma, üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde biyogaz kavramı, kavramsal ve tarihsel perspektiften incelenirken, ikinci bölümde çalışmanın materyal ve yöntemi açıklanmıştır. Son bölümde ise yapılan hesaplamalar ve ulaşılan bulgulara yer verilmiştir.

BİRİNCİ BÖLÜM

KAVRAMSAL VE TARİHSEL PERSPEKTİFTEN BİYOGAZ

1.1. Enerji ve Enerji Kaynakları

Günümüzde enerji, insan hayatının sürdürülebilmesi için vazgeçilmez bir unsurdur. Dünyadaki nüfus artışı, buna bağlı olarak üretim kapasitesinin artışı, sanayileşme ve bilimsel faaliyetlerin gelişmesi ile enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün daha da artmaktadır. Enerjinin bir formdan farklı bir forma dönüştürülebilmesi sonucunda modern toplum şekillenmiş, insanların iş yapabilme gücü artmıştır. İnsanlar yürüyebilmek için de yemeklerini pişirmek için de uzaya astronot göndermek için de enerjiyi kullanır (Environmental Impact Assessment [EIA], 2020). Enerjinin birçok biçime girebilmesi nedeniyle kapsamlı bir tanımını yapmak zordur. Fakat kavram, bir sistemin iş yapabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Dünyada yaşayan her organizma enerjiye ihtiyaç duyar. Bu nedenle enerji günlük hayatta ve endüstriyel açıdan büyük öneme sahiptir (İşgör, t.y.). Yapmak istenilen her iş için kullanılan bir enerji kaynağı vardır. Örneğin; yemek yapmak için sıvılaştırılmış gaz kaynaklardan yararlanılır. Enerji elde edilmesini sağlayan birçok kaynak vardır. Ancak genel enerji kaynakları iki temel başlıkta incelenmektedir. Bunlar (Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM], t.y.; Öçal, 2013):

- Yenilenebilir enerji kaynakları; kullandıkça kolaylıkla yenilenen enerji kaynağıdır. Örneğin; güneş, rüzgâr, jeotermal ve biyokütle kaynaklı üretim teknolojileri.
- Yenilenemez enerji kaynakları; kullanıldıkça yenilenemeyen enerji kaynağıdır. Örneğin; petrol, kömür gibi doğada saf bir şekilde bulunan kaynaklardır.

Yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları, ısı gibi faydalı enerji üretmek için birincil enerji kaynağı olarak kullanılabilir veya elektrik ve hidrojen gibi ikincil enerji kaynakları üretmek için de kullanılabilir (EIA, 2020).

Günümüz endüstri dünyasında ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlar olarak sınıflandırılan petrol, kömür ve doğalgazdan karşılanmaktadır. Fakat bu enerji kaynaklarının

kısıtlı olması ve doğa üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle yeni enerji teknolojilerinin gerekliliği oldukça büyük önem teşkil etmektedir. Enerji kullanımının yarattığı çevresel etkilerin (sera gazı emisyonları, küresel ısınma, hava kirliliği, su kirliliği ve bunların küresel iklim değişikliklerine olan etkisi vs.) en düşük seviyede olabilmesi için ülkelerin yeni enerji kaynaklarına yatırım yapması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu durum sadece gelişmiş ülkeler açısından değil, gelişmekte olan ülkeler açısından da önemli bir sorundur (Kaya ve Öztürk, 2012:5).

Küreselleşme ve hızla değişen teknoloji, enerji gibi tükenebilen kaynakları da etkilemektedir. Enerji kaynakları tüm dünyanın en önemli konusu haline gelmiştir. Dünyada yaşanan savaşların ve krizlerin temelinde genellikle enerji kaynaklarını ve enerji ticaretini kontrol altına alma çabası vardır. Gelişmiş ülkelerin güçlerini ellerinde tutmak istemeleri ve ticaret hacmindeki sürekli artış doğal kaynakların tükenmesine ve yeni kaynaklara ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır. Gelecek nesiller için sürdürülebilir enerji üretimi sağlamak amacıyla ülkeler temiz enerji arayışını benimseyerek yenilenebilir enerji üretimi çalışmalarını hızlandırmıştır (Gürdalı, 2009). Örneğin, Danimarka 2050 yılında tamamen yenilenebilir enerji sistemini kullanmayı hedeflemektedir (Korberg vd., 2020).

Enerjinin sürdürülebilirliği ve enerji verimini artırabilmenin temel yöntemi yenilenebilir enerjiden önce enerji tasarrufudur. Enerji verimliliğinin gerçekleştirilebilmesi için sistematik bir yaklaşımın benimsenmesi gerekir. Bu bağlamda, stratejik enerji yönetimi uzun dönemde enerji denetimini ile enerji üretimini sağlayarak performans hedeflerinin maliyetinin değerlendirilmesini ve enerji kuruluşlarının planlanmasını desteklemektedir. Bu amaçla, enerji yönetiminin kalite standartları kapsamında ele alınması bir zorunluluktur. ISO (International Organisation of Standardization/Uluslararası Standardizasyon Kuruluşu) 50001 enerji tüketiminin ölçülendirilmesini, dökümanite edilmesini ve bildirilmesini sağlamaktadır. ISO 50001 yönetim standartlarını uygulayan ve üretimde sürekli gelişme gösteren kuruluşlar ISO 50001 sertifikasına uygun bulunmaktadır (Kutscher vd., 2018).

İşletmeler, enerji yönetimini sağlayabilmek için kalite standartlarına uygun olarak enerji performansını sürekli iyileştirmeye çalışırken aynı zamanda ülkeler de enerjiyi korumak için çeşitli yasal düzenlemeler yapmaktadır. Örneğin 20 kurucu üyeye sahip olan OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development/Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü) ülkeleri içinde Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarına yeni yatırımların yapılabilmesi için alana yönelik devlet politikaları oluşturmakta, yenilenebilir enerji kaynakları üretimini ve kullanımını teşvik etmektedir. Ayrıca OECD üye devletlere destek

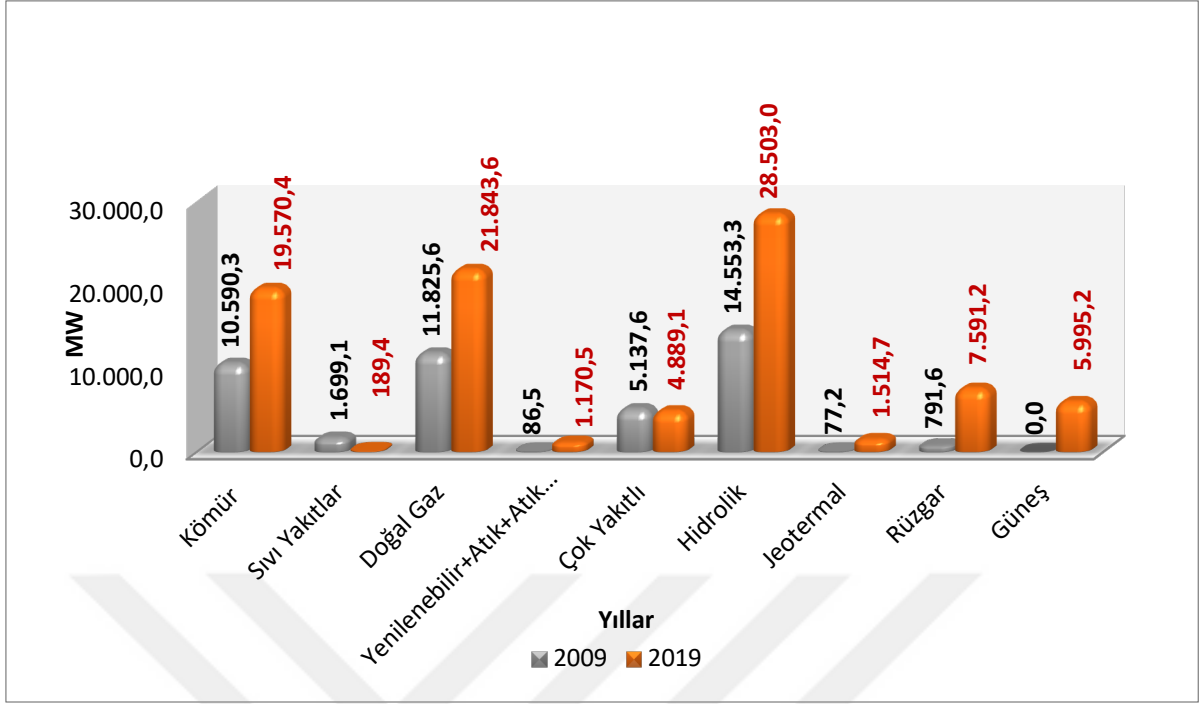
olmak için enerji konusunu da içeren dört temel hedef belirlemiştir. Bunlar (OECD; Selam vd., 2013):

- Devletleri bu alanda daha fonksiyonel hale getirmek amacıyla kurum, kuruluş ve piyasalarda güven oluşturmak,
- Gelecekte sürdürülebilir ekonomik büyüme sağlamak için sağlıklı finans politikaları oluşturmak,
- Yenilikçi büyümeyi, çevre dostu yeşil büyüme stratejilerini ve yükselen ekonomilerin gelişimini desteklemek,
- Her yaş grubundan insanın ve gelecek nesillerin enerji verimliliği alanında sürdürülebilir kalkınmasını sağlayacak yenilikleri desteklemektir.

1.1.1. Türkiye’de Enerji Kaynakları

Dünya genelinde enerji kaynaklarının kullanımının önemi yadsınamaz olduğu gibi, Türkiye açısından da büyük önem taşımaktadır. Ülkemiz enerji kaynakları bakımından çeşitliliğe sahip olmasına rağmen, petrol, taşkömürü ve doğalgaz kaynakları açısından kısıtlı imkanlara sahiptir. Bununla birlikte ülkemizde uranyum, toryum ve bor gibi stratejik kaynaklar da bulunmaktadır. Bu kaynaklar rezerv olarak tutulmaktadır (Akbulut, 2008). Ayrıca ülkemiz güneş, jeotermal ve rüzgâr enerjisi açısından önemli kaynaklara sahiptir. Enerji ithalini düşürmek, iklim değişikliği ile mücadele etmek ve fosil yakıtlara olan bağılılığı azaltmak ancak bu kaynakların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması ile mümkün olmaktadır. Ülkemizdeki birincil enerji kaynaklarından¹ üretiminin son 10 yılda artış gösterdiği bilinmektedir. Bu bağlamda 2009 ve 2019 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye’nin Kurulu gücü karşılaştırması Şekil 1.1’de verilmiştir (Türkiye Elektrik İletişim Anonim Şirketi [TEİAŞ], 2020).

¹ Kömür, doğalgaz, petrol, nükleer, biyokütle, güneş, hidrolik, rüzgâr ve dalga enerjisi (Koç ve Kaya, 2015).



Şekil 1.1. 2009 ve 2019 Yılları için birincil enerji kaynaklarına göre Türkiye kurulu gücü

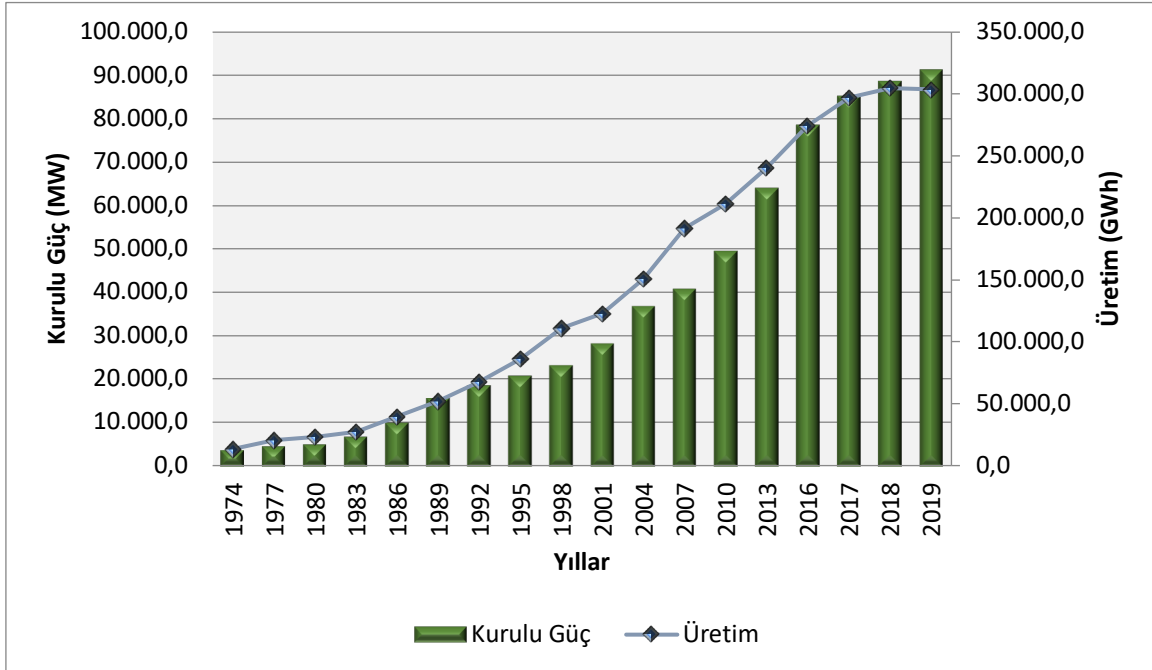
Şekil 1.1’de, 2009 ve 2019 yılı enerji üretimi arasında karşılaştırma yapılmıştır. On yıl içerisinde enerji üretiminin arttığı gözlenmiştir. En çok artış sağlayan enerji kaynağı hidrolik enerjidir. Bu enerjiyi, kömür ve doğalgaz takip etmektedir. Atıklardan enerji üretimi ve jeotermal enerji üretimi alanındaki artışın diğer enerji türleri ile karşılaştırıldığında daha düşük düzeyde kaldığı görülmektedir.

Türkiye’de yenilenebilir enerjinin birincil kullanımdaki payı %6.5’tir. Yenilenebilir elektrik üretiminin payı ise %24’tür. 2023 yılına kadar Türkiye’nin enerji stratejisi kapsamında yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının %30’a ulaşması hedeflenmektedir (World Wildlife Fund [WWF], 2021). Çünkü enerji üretimi bir ülkenin kalkınmasını sağlayan en önemli etkenlerden biridir. Enerji kullanımı ve endüstriyelleşme toplumun refah seviyesinin yükselmesiyle doğrudan bağlantılıdır. Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi pek çok kanallarla yapılmaktadır (Yılmaz, 2012). Tablo 1.1. incelendiğinde; Türkiye’de kömür, linyit, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların yanı sıra, yenilenebilir enerji kaynaklarının da kullanıldığı görülmektedir. Ülkemizde yenilenebilir enerji üretimi oldukça düşüktür. Fakat Türkiye, kendi enerjisini üretme kapasitesini her geçen gün artırmaktadır (TEİAŞ, 2020).

Tablo 1.1. 2019 yılı Türkiye’deki elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Kaynak	Üretim (GWh)	Katkısı (%)
İthal Kömür	60 394.7	19.87
Taşkömürü + Asfaltit	5 627.2	1.85
Linyit	46 872.2	15.42
Doğal Gaz	57 288.2	18.85
Sıvı Yakıtlar	336.0	0.11
Barajlı	65 926.2	21.69
D. Göl ve Akarsu	22 896.6	7.53
Rüzgâr	21 730.7	7.15
Yenilenebilir Atık + Atık Isı	4 624.2	1.52
Jeotermal	8 951.7	2.95
Güneş	9 249.8	3.04
TOPLAM	303 897.6	100.00

Enerji kaynakları açısından çeşitlilik olmakla birlikte ülke nüfusu her yıl %1,7 oranında artmaktadır. Nüfus artış hızına paralel olarak üretilmesi gereken enerji miktarı da artmaktadır. Türkiye’nin yıllar içindeki enerji üretimi Şekil 1.2’de gösterilmiştir (TEİAŞ, 2020).

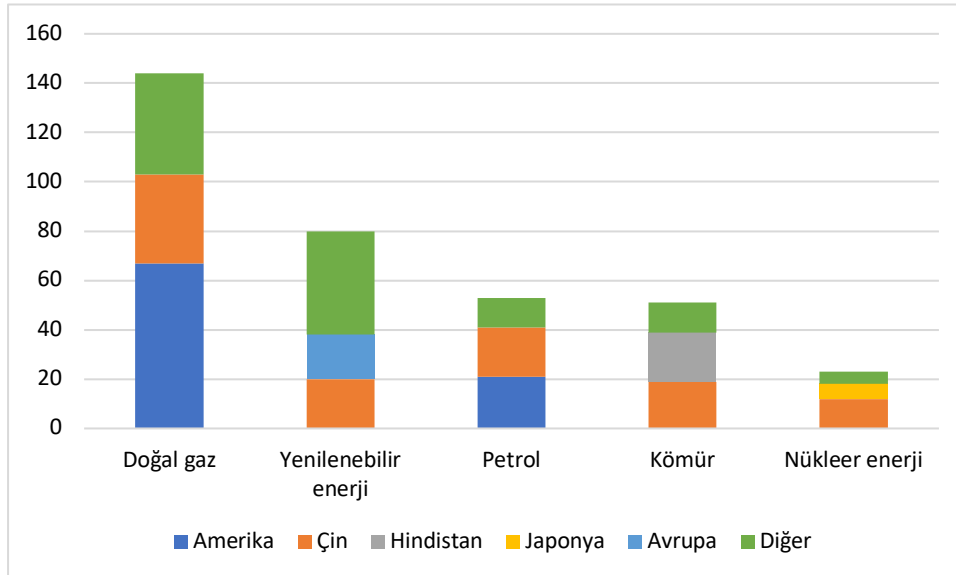


Şekil 1.2. Türkiye’de enerji üretim miktarının yıllar itibariyle gelişimi (MW)

Türkiye enerji üretimi alanına yatırımlarını geliştirmektedir. Şekil 1.2.'de görüldüğü gibi toplam enerji üretim miktarı yıllar içerisinde artarak devam etmiştir. Bu durum ülkemizin gelişmesi ve kalkınması açısından oldukça değerli bir gelişmedir.

1.1.2. Dünyada Enerji Kaynakları

Günümüzde bütün enerji kaynaklarının ticari bir boyutu bulunmaktadır. Enerji üretimi düşük ülkeler dışa bağımlı hale gelmektedir. Bu nedenle enerji kaynaklarının kullanımında karşılaşılabilecek sorunların tahmin edilmesi ve teknolojik gereksinimlerin planlanması bütün ülkelerin refah düzeyi için oldukça önemlidir. Mevcut enerji kaynakları tüketiminde ABD, AB ülkeleri, Çin ve Rusya gibi ülkeler ilk sıradadır (Akbulut, 2008; International Energy Agency [IEA], 2018). Ülkelere göre enerji tüketimi tablosu IEA tarafından 2020 yılında yayınlanmıştır. Şekil 1.3'te ülkelere göre enerji tüketim kaynakları ve miktarı gösterilmiştir (IEA, 2020a). Şekil incelendiğinde dünya çapında en çok kullanılan enerji türünün doğalgaz olduğu görülmektedir. Özellikle ABD tarafından önemli miktarda doğalgaz tüketimi mevcuttur. En çok kullanılan enerji türünün ikinci sırasında ise yenilenebilir enerji kaynakları vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının petrol ve kömür gibi yenilenemez enerji kaynakları tüketiminden fazla olması sürdürülebilir geleceği inşa etmek açısından oldukça önem taşımaktadır.

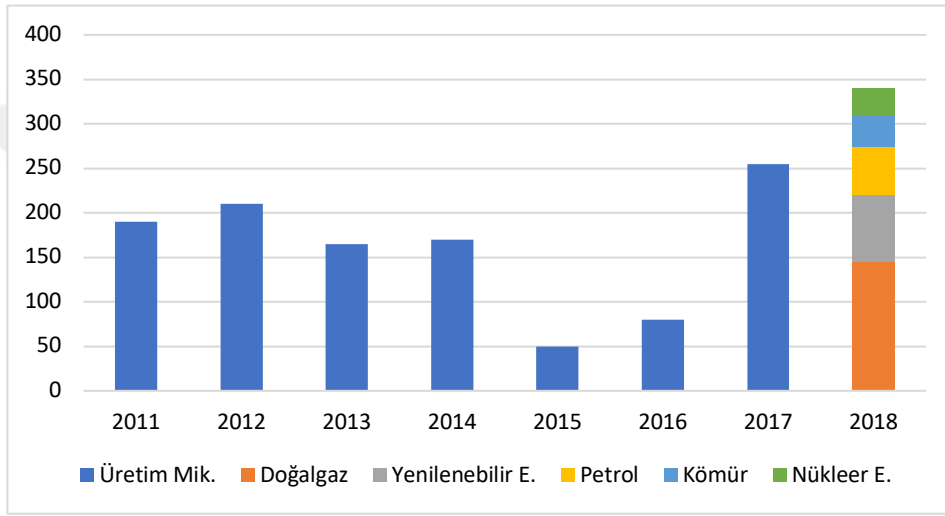


Şekil 1.3. Ülkelere göre küresel enerji tüketimi

Dünya genelinde enerji tüketimi, güçlü bir küresel ekonomin yanı sıra dünyanın bazı bölgelerinde daha yüksek ısıtma ve soğutma ihtiyaçları nedeniyle 2010'dan itibaren

ortalama büyüme oranının neredeyse iki katı olan %2.3 oranında büyümüştür (IEA, 2019). Küresel enerji talebinin yıllar içerisindeki değişim grafiği Şekil 1.4'te gösterilmiştir. Toplam enerji talebindeki artışı karşılayan en yüksek oran %70 ile fosil yakıtlar olmuştur. Bu miktarın %45'i ise doğalgazdır.

Yenilenebilir enerji tüketimi ciddi oranda yükseliş göstermekle birlikte bu artış dünya çapındaki enerji ihtiyacını karşılayacak seviyede değildir (IEA, 2020b). Dolayısıyla iklim değişikliği ile mücadele ederken, yenilenebilir enerji alanında yapılan çalışmaları geliştirmek oldukça büyük önem taşımaktadır.



Şekil 1.4. Küresel enerji talebinin yıllar içerisinde değişimi

IEA verilerine göre; enerji ihtiyacının büyük bir miktarı doğalgazdan karşılanmaktadır. İkinci sırada dünya çapında en çok kullanılan enerji kaynağı yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Devamında petrol, kömür ve nükleer enerji kaynakları kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanımına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde dünyada tüketilen enerjinin yalnızca %18.1'i yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilmektedir (Ergişi, 2019, 12). Kullanılan fosil yakıtlar başta olmak üzere pek çok sonu düşünülmemeyen tüketim alışkanlığı sonucu atmosferdeki CO₂ miktarının 2018 yılı itibariyle 406 ppm seviyesinin üzerine çıktığı belirlenmiştir. Araştırmalara göre canlıların güvende olabileceği en yüksek sınırın 340 ppm (parts per million/milyonda bir) parçacık olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Atmosferdeki CO₂ miktarının sanayi devriminden sonra önüne geçilemeyen artışı sonucu meydana gelen karbonik asit nedeniyle toprak florası bozulmaya ve denizler bir miktar asidik olmaya başlamıştır. Asit bir yandan iskelet yapısında bulunan karbon iyonlarını azaltırken, pH seviyesindeki virgülden sonraki küçük oynamalar (logaritmik olması nedeniyle) insan hayatında büyük değişikliklere neden olmaktadır. Ayrıca çeşitli canlıların

yapısının bozulmasına, hastalıklara, elverişsiz tarıma ve daha birçok problemlere yol açmaktadır. Bu noktada her bir bireyin karbon ayak izini düşürmeye özen göstermesi gerekmektedir. İnsanlığın yaşam kalitesi için yenilenebilir enerji kullanımı bir tercihten ziyade zorunluluk haline gelmiştir (Demirsoy, 2019). Özellikle ülkelerin nüfusundaki dalgalanma enerji talebindeki artışa neden olmaktadır. Şimdilik enerji tüketimindeki artış yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanabilecek durumda değildir. Ülkelerin gerekli önlemleri almaları, daha çevreci politikalar benimseyip ekonomiye destek olması gereklidir. Örneğin, Çin, 2060'dan önce karbonun nötr olmasını taahhüd ederek, içinde bulunulan yüzyıldaki küresel sıcaklık artışını, sanayi devrimi öncesi döneme kıyasla 2°C'nin olabildiğince altında tutmayı hedefleyen Paris Anlaşması kapsamındaki 2065-2070 Küresel Karbon Nötrlüğü Programı'nın hedefini geçmeyi planlamaktadır. Çin yeniliğe dayalı, eşgüdümlü, çevreci ve küresel ilerlemeye yönelik herkese fayda sağlayacak bir kalkınma projesi kapsamında; orman alanlarının artırılması, plastik kirliliğin azaltılması, ulaşımın yassı batarya teknolojili elektrikli araçlar veya paylaşımlı bisikletler ile sağlanması, enerji üretiminin yenilenebilir enerji kaynakları ile gerçekleşmesini sağlayarak düşük karbonlu kalkınma trendinde liderlik rolü üstlenmektedir. Çin'in kararlılığı ve eylemleri dünyanın karbon nötr olma tarihini 5-10 yıl öne çekmektedir (Jiankun, 2021). Yapılan çalışmalar incelendiğinde dünya enerji talebinin karşılanmasında, ülkelerin alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yaptığı görülmektedir (Ergişi, 2019:12).

1.1.3. Alternatif ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Sürekli devam eden doğal enerji akışından elde edilebilen her enerji türü, yenilenebilir enerji olarak tanımlanmıştır. (Üçgül, 2019). Kısaca, doğal yollarla kendini yenileyebilme potansiyeli olan enerji kaynaklarıdır. Doğadaki enerji, ısı, ışık, mekanik, kimyasal, elektrik ve nükleer enerji gibi farklı çeşitlerde ortaya çıkmaktadır. Doğada bulunan bu farklı enerji türleri Enerji Korunumu Yasası ile birbirine dönüşebilmektedir. Genel olarak evrenin toplam enerjisi korunmakta ve enerji sadece şekil ve yer değiştirmektedir (Torunoğlu, 2015).

Enerjinin doğal varlıklarımızı kirlilemeden toplum tarafından kullanılabilir hale getirilebilmesi günümüzde öncelik arz etmektedir. Küreselleşen dünyada enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaktadır. Çünkü yenilenebilir enerji kaynaklarının; çevre kirliliğini engelleme, sürdürülebilir olma ve karbon ayak izini azaltma gibi pek çok faydası vardır. Uluslararası Enerji Ajansı yenilenebilir enerji kaynaklarını; güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrolik güç,

biyogaz, okyanus kaynakları enerjisini yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlamıştır (IEA, 2020a).

Güneş Enerjisi: Dünya genelinde yaygın kullanıma sahip yenilenebilir enerji türü olan güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesi ile ortaya çıkan ışıma enerjisinden faydalanılmasıdır ve yeryüzünde en yaygın yenilenebilir enerji türüdür (Ergişi, 2019). Güneş enerjisinden ısı elde etmek amaçlı teknolojik çalışmalar giderek farklılaşmaktadır. İsveç gibi güneşi çok az gören bir ülkede bile sıcaklık eksilerin altına düştüğünde güneş enerjisi depolayan araçlardan 70 derece su elde edilmektedir (Özkaya, 2004). Bu alanda yapılan araştırmalar, Türkiye'nin mevcut coğrafi konumunun güneş enerjisinin etkin olarak kullanılması ile ortaya çıkan elektrik enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'nın (GEPA) çalışmalarına göre Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak tahmin edilmektedir. Ancak günümüzde Türkiye'de güneş enerjisinden faydalanma oranı oldukça düşüktür (Özgür, 2020).



Resim 1.1. Güneş enerji panelleri

Rüzgâr Enerjisi: Rüzgâr enerjisi, rüzgârı meydana getiren hava akımının sahip olduğu hareket enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle rüzgârdaki hareket enerjisinin önce mekanik enerjiye sonra da elektrik enerjisine dönüştürme sistemidir. (Tunç vd., 2006). Rüzgâr enerjisi üretimi İngiltere, Amerika, Almanya, İsviçre ve Danimarka'da yaygın olarak kullanılmaktadır (Özkaya, 2004). Küresel Rüzgâr Enerji Konseyi (Global Wind Energy Council [GWEC], 2021) dünya genelinde toplam rüzgâr enerjisi kapasitesini 74 GW olarak

raporlamıştır. Ülkemizde ise bu değer, 9 305 MWm'dir. Rüzgâr enerjisinden elde edilen enerji üretim oranı ise %8.44'tür (Türkiye Rüzgâr Enerji Birliği [TÜREB], 2021). Türkiye'de rüzgâr enerjisi üretiminde en yüksek potansiyeli olan bölgeler; Marmara ve Ege Bölgesidir. Bu bölgelerde rüzgâr enerjisi projeleri için 25 potansiyel saha tespit edilmiştir. (Tunç vd., 2006). Türkiye'de 2021 yılı itibariyle 239 adet rüzgâr enerjisi üretim santrali ve bu santrallerde 3.591 tane kurulu türbin bulunmaktadır (TÜREB, 2021).

Jeotermal Enerji: Yerkabuğunun derinliklerinde henüz soğumamış magma kütesinin ortaya çıkardığı ısıнын oluşturduğu yenilenebilir enerji türüne jeotermal enerji denir. Jeotermal kaynaklar; akışkanların sıcaklığına ve taşıdıkları termal enerjiye (ısı enerjisine) göre sınıflandırılmaktadır. Türkiye'de jeotermal enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Türkiye jeotermal kaynak açısından dünyada dördüncü sıradadır (Erkul, 2012; Enerji Atlası, 2021).

Türkiye coğrafi ve jeolojik konumu itibariyle aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için jeotermal enerji bakımından oldukça zengindir. Ülkemizin dört bir yanına yayılmış 1000 adet doğal çıkış şeklinde farklı sıcaklıklarda pek çok kaynak bulunmaktadır. Bu potansiyeli oluşturan alanların %78'i, Batı Anadolu'dadır. Jeotermal kaynaklarının %90'ı düşük ve orta sıcaklığa sahip olup, ısıtma, termal turizm ve çeşitli endüstriyel uygulamalar için uygundur. %10'u ise elektrik enerjisi üretimi için uygundur (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü [MTA], 2020).

Hidrolik Enerji: Hidrolik enerji suyun akış ve düşüş hızlarından faydalanılarak, suyun enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile elde edilir. Maliyet açısından diğer yenilenebilir enerji türlerine göre daha uygun olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidro-enerji ve barajlar, atmosferi kirleten zehirli gazlar, yenilenemeyen enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında işletim maliyetlerinin azlığı ve tarım sektöründe kullanımları nedeniyle vazgeçilmez görülmektedir. Günümüzde potansiyel hidro-enerji miktarının %30'undan faydalanılmaktadır. Bu oran dünya elektrik üretiminin %17'sine karşılık gelmektedir. Yılda %8-10 düzeylerinde binlerce MW (megawatt)'lık enerji ihtiyacının karşılanması ancak büyük ölçekli baraj projelerinin hayata geçirilmesi ile mümkün olacaktır (Ergişi, 2019). 2019 yılı itibariyle Türkiye'deki hidrolik enerji santrali sayısı 685'dir. Enerji tüketiminin %26.71'i, hidrolik enerji santrallerinde üretilen enerji ile sağlanmaktadır (Enerji Atlası, 2019).

Okyanus Enerjisi: Deniz hidrokinetik enerjisi olarak da adlandırılan okyanus enerjisi, denizlerde oluşan dalgalardan ve deniz rüzgârlarından faydalanılarak üretilen enerji

sistemidir. Üretilen enerji miktarı; rüzgârın hızına, süresine ve oluşan dalga boyutlarının uzunluğuna göre değişiklik göstermektedir. Yenilenebilir enerji türünün en son keşfi olarak bilinmektedir. Dalga enerjisi fosil yakıtların tüketiminin çevreye getirdiği olumsuz etkileri göstermemektedir. Bu nedenle alternatif enerji üretimi için ideal olduğu bilinmektedir (European Marine Energy Centre Ltd. [EMEC], t.y.). Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili olması nedeniyle okyanus enerjisi üretimi için uygun bir konumdadır. Türkiye'nin toplam sahil uzunluğunun yaklaşık olarak beşte biri 2.11 GW dalga enerjisi teknik potansiyeline sahiptir. İstanbul Boğazı'nın kuzeyi, Batı Karadeniz Bölgesi ve Ege Denizi'nin güneybatı kıyıları dalga enerjisi için en iyi mevkiler olarak belirlenmiştir (Altaş ve Şahin, 2019).

Biyogaz Enerjisi: Biyogaz organik atıkların oksijensiz ortamda çeşitli proseslerden geçerek %30-40 oranında karbondioksit ve %60-70 oranında metan gazına dönüştürülmesidir. Biyogazın elde edilmesi organik maddelerin mikrobiyolojik florasının ayrıştırılmasına dayandığı için hayvan gübreleri veya bitkisel atıklar kullanılmaktadır (Güvenek, 2011). Bu kimyasal süreç sonrasında elde edilen gazdan elektrik enerjisi elde edilir. Geriye kalan kısmı ise, verimli bir gübre kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca elektrik üretimi esnasında kojenerasyon motorundan çıkan 400-450 derece civarındaki düzenli sıcaklık, seracılık, fabrika-otellerin ısıtılması, pastörizasyon ve soğutma gibi yatırımlarda kullanılabilir (Aslanlı, 2009). Bu nedenle yenilenebilir enerji türleri arasında çok yönlülüğü ile öne çıkmaktadır.

1.2. Yenilenebilir Enerji Türü Olarak Biyogaz

Gelecekteki enerji senaryolarına göre sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmakta yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir rol oynayacaktır. Günümüzde küresel enerji talebi %80 oranında fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. 2035 yılına kadar fosil yakıt kullanımının devam edeceği, 2035 yılından sonra ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artacağı belirtilmektedir (IEA, 2018). Atmosferdeki karbondioksit miktarını azaltma politikasında yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda biyogazdan elde edilen enerji, gelecekteki en baskın yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak görülmektedir (Appels vd., 2011). Atıklardan biyogaz üretimi yıllardır bilinen ve üzerinde pek çok çalışma yapılmış bir konudur. Yaşam sürdüğü müddetçe biyogaz sonsuz elde edilebilecek bir enerji kaynağıdır. Bu kaynağı, verimli bir şekilde değerlendirebilmek hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemlidir (Sorgulu, 2020).

1.2.1. Biyogaz Kavramı ve Özellikleri

Organik maddelerin havasız (oksijensiz) ortamda bozunması sonucu oluşan karbondioksit, metan ve az miktarda hidrojen sülfür gaz karışımına biyogaz denir. Biyogazın içeriğindeki metan gazı, doğal gaz için kritik bir öneme sahiptir. (Yılmaz vd., 2018). Biyogazın içeriğindeki gazlar oranları ile Tablo 1.2’de gösterilmiştir (Sethi, 2018).

Tablo 1.2. Biyogazın ana bileşenleri

Biyogaz Bileşeni	Ağırlık Yüzdesi
Metan	%50 - %75
Karbondioksit	%25 - %50
Nitrojen	%0 - %10
Hidrojen Sülfür	%0 - %3
Hidrojen	%0 - %1
Oksijen	%0.5
Su	%5 - %6

Biyogazın elde edilmesinde anaerobik (oksijensiz ortam) fermantasyon sürecinden yararlanılır. Bu süreç hidroliz, asit oluşturma ve metan oluşumu adımlarından oluşur ve her basamakta farklı türde mikroorganizmalar görev almaktadır. Bundan dolayı her bir adımda görev alan mikroorganizmalara uygun yaşamsal koşulların sağlanması gerekmektedir. Bir adımın ürünü, diğer adımın hammaddesi olarak kullanılmakta ve bu proses sürekli olarak devam etmektedir. Her bir adımın birbirine bağlı olması, işletme koşullarını zorlaştırmaktadır. Herhangi bir adımda oluşabilecek bir sorun, diğer adımları etkilemekte ve prosesinin verimini düşürmektedir (Önen, 2016). Resim 1.2’de bir biyogaz santrali gösterilmiştir (Yapılcanlar, 2021).



Resim 1.2. Biyogaz üretim santrali

Biyogaz üretim sürecinde gerçekleştirilen işlemler birbirini etkiler. İşlemin herhangi bir sürecindeki hata veya gecikme üretim miktarının azalması ile sonuçlanır bu nedenle oldukça karmaşık proseslerden oluşan bu üretim tesisinde belirli spesifikasyonlara uyulması gerekmektedir. Biyogazının üretimini etkileyen çeşitli faktörler vardır. Bu faktörler:

Sıcaklık: Biyogazda kullanılan yararlı bakteriler çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklara dayanıklı değildir. Bu nedenle biyogaz üretiminde sıcaklığın belirli limitler arasında olması, üretim verimliliği açısından çok büyük önem arz etmektedir. Genel bir kural olarak, sıcaklığın 30-35°C aralığında olması istenir. Biyogaz üretiminde kullanılan metanojenik bakteriler sıcaklık değişimine duyarlı oldukları için reaktörün içerisindeki sıcaklık bekleme süresini ve reaktör hacmini belirler. Sıcaklığın düzeyine göre sınıflandırma yapılacak olursa üç tür sıcaklık vardır. Bunlar; psikofilik sıcaklık 12-20°C, mezofilik sıcaklık 20-40°C, termofilik sıcaklık 40-65°C'dir (Gülen ve Arslan, 2005).

pH: Metan gazını oluşturan bakteriler için en uygun pH değeri; nötr veya hafif alkali değerlerdir. Fermantasyon işlemi gerçekleşirken en uygun değer, 7-7.5 pH'dır. Bu değer 6.7'nin altına düştüğü takdirde bakteriler için toksik etki yapmaktadır (Koçar, Eryaşar, Ersöz, Arıcı ve Durmuş, 2010).

Toksisite: Biyogaz üretiminde ağır metaller, mineral iyonları ve deterjan gibi maddeler bakterilerin gelişimi üzerinde istenmeyen etkiler oluşturabilir. Bu maddelerin reaktöre sızması üretimin durmasına sebep olabilir. Örneğin reaktör beslemesine katılan tavuk

gübresi eğer antibiyotikli ise metan gazı üretimini gerçekleştiren bakteriler üzerinde olumsuz etkiler oluşturur (BiyogazDer, 2020).

C/N Oranı: Biyogaz üretimini gerçekleştiren anaerobik bakteriler için ortamın kimyasal açıdan optimize olması önem taşımaktadır. Karbon ve azot elementleri metan gazı oluşumunu destekleyen bakteriler için önem teşkil etmektedir. Bu nedenle C / N oranı biyogaz elde edilecek atık için uygun bir değere sahip olmalıdır. Bu oran $23/1 < C/N < 10/1$ spesifikasyon aralığında olmalıdır. Bunun nedeni, azot oranının fazla olması durumunda amonyak ortaya çıkacağı için biyogaz oluşumunu olumsuz yönde etkilemesidir (Erhan, 2019).

Organik Yükleme Hızı: Organik yükleme reaktörün günlük besleme miktarıdır. Organik yükleme hızı, her zaman optimum derecede tutulmalıdır. Aksi takdirde pH seviyesinde önemli değişiklikler olur. Bu nedenlerle üretim verimi ciddi ölçüde değişim gösterir (Çanka, 2011).

Katı Madde Oranı: Biyogaz üretiminde kullanılan organik atıkların katı madde oranı verimliliğe etki etmektedir. Katı madde oranı %7-12 arasında olmadığı takdirde tank içerisinde parçalanma meydana gelmemekte ve üretim verimi düşmektedir (Yılmaz, 2019).

Biyogaz kullanımı yaygınlaştıkça bu yenilenebilir enerji türünün birçok avantaj ve dezavantajları ortaya çıkmaktadır. Bu avantajlar ve dezavantajlar şu şekilde sıralanabilir (Yılmaz vd., 2018):

Biyogazın avantajları; hemen her yerde bulunabilmesi, sürdürülebilir modern tarımın gelişimine katkı sağlaması, sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması, her ölçekte enerji verimi için uygun olması, depolanabilir olması, çevre kirliliği oluşturmaması ve asit yağmurlarının oluşumunu engellemesidir.

Biyogazın dezavantajları; tarım alanları için rekabet oluşturmaması, kurulum maliyetinin yüksek olması, biyogaz üretimi alanında kalifiye elemanları bulmada yaşanan sorunlar, çok fazla koku yayması ve oluşan teknik aksaklıklar üretimin durmasına sebep olduğu için karlılığın düşmesidir.

1.2.2. Biyogazın Tarihsel Gelişimi

İlk anaerobik (oksijensiz ortamda) bozunma tesisi, 1859'da Hindistan'ın Bombay şehrinde kurulmuştur. Aralık 1881 ve Ocak 1882'de M. Louis Mauras tarafından yapılan bir çalışma,

havasız bir kap içerisindeki partiküllerin anaerobik olarak sıvılaştırılabileceğini kanıtlamıştır. Fransız dergisi Cosmos'da yayınlanmıştır. 1927'de Almanya Essen-Relinghausen'de ilk çamur ısıtma sistemi olan arıtma tesisi kurulmuştur. Üretilen gazın toplanması ve yakılması konusundaki çalışmalar Emschergenossenschaft ve ekibi tarafından yapılmıştır (Öçal, 2013). 1930 yılından sonra anaerobik bakterilerin ve metan gazı üretimini etkileyen faktörlerin araştırması başlatılmıştır. 1970-1980 yılları arasında küresel olarak yaşanan petrol ve enerji krizi yenilenebilir enerji türlerine olan ilgiyi artırmıştır. Örnek biyogaz tesisleri inşa edilmiştir ancak yetersiz ve yanlış tasarlanmış olan birçok biyogaz tesisi sorunlar nedeniyle işletilememiştir ancak zamanla üretim prosesleri optimize edilmiş ve günümüzde en önemli enerji kaynaklarının arasında yerini almıştır (Çelikkaya, 2016).

1.2.3. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Atıklar ve Karakteristikleri

Biyogaz üretiminde birçok organik atık madde kullanılabilir. Bu maddeler; gıda atıkları, bitkisel atıklar, hayvansal atıklar ve kanalizasyon atıklarıdır. Metan gazı üretimini geliştirmek için besinleri dengeleme gerekliliği gözardı edilmemelidir. Bu noktada iki veya daha fazla substratın² eş zamanlı sindirimi ve substratın ön işlemi oldukça önem taşımaktadır. Kullanılan atıkların birleşiminin fizyokimyasal özellikleri, hammaddenin cinsi, nem içeriği, besin değerleri, tamponlanma kapasitesine ve uçucu katı maddelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Sethi, 2018).

1.2.3.1. Gıda atıkları

Her evin mutfağından açığa çıkan gıda atıkları, yemekler hazırlanırken artan gıda bileşenleri, çürümüş gıdalar ve artan yemekler biyogaz üretimi için biyolojik olarak sindirilebilir maddeler olup, anaerobik fermentasyon için uygundur. Ancak mutfak atıkları et, süt ve peynir gibi hayvansal ürünler içerdiği için, fermentasyon sürecinde bazı düzenlemeler gerektirmektedir. Gıda atıklarının biyolojik sindirimi diğer maddelere oranla kolaydır. Ancak mutfak atıklarının depolanması aşamasında hızlı bir şekilde asitleşmeleri pH değerinin 4.5 gibi düşük düzeylere ulaşmasına sebep olabilir. Bu durum metan gazı oluşumunu yani enerji üretimini olumsuz etkileyeceği için mutfak atıklarının diğer maddeler ile birlikte fermentasyonunda dikkat edilmesi gerekmektedir (Kaya ve Öztürk, 2012:18).

² Reaksiyona girecek olan maddelere substrat denir (Rasyonalist, t.y)

Dünya genelinde Hindistan artan nüfusu ile en fazla gıda atığı üreticisidir. Endüstriyelleşme ve ekonomik büyüme nedeniyle pek çok ülkenin katı atık üretim fazlalığına neden olduğu gözlenmiştir. Temel sorun ise; bu atıkların yok edilmesidir. Biyogaz üretimi büyük miktardaki atıkları verimli bir şekilde azaltmakta ve atık yok etme sorununu en aza indirmektedir (Kadam, 2021).

Atıkların yok edilmesinde en önemli argümanlardan birisi, atıkların karakterizasyonunun sağlanmasıdır. Birleşmiş Milletler (BM) Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre dünyada tüm gıdaların %33'ü daha tüketiciye ulaşmadan atık hale gelmektedir. Yılda yaklaşık 1.3 milyar ton gıda atığı oluşmaktadır. Bir yılda üretilen sebze ve meyvelerin %50'sinin, tahıl ürünlerinin %30'unun, süt ürünlerinin %20'sinin atık haline geldiği tespit edilmiştir (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], t.y.). Türkiye'de gıda israfı 2018 yılında, 214 milyar TL'dir. Ülkemizde bir yılda ortalama üretilen 49 milyon ton sebzenin %20-40'ı sofraya gelmeden üretim dağıtım veya tüketim aşamasında kayba uğramaktadır. TÜBİTAK'ın hazırladığı araştırmaya göre en iyimser tahminle kayıp miktarın yaklaşık 12 milyon ton olduğu hesaplanmıştır. Bu miktar, Türkiye'nin yıllık yaş sebze ihracatının yaklaşık 4 katıdır (Kellogg, 2018). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2012 yılı verilerine göre Türkiye'de kişi başına üretilen atık miktarı, 1.12 kg'dır. Bu atıkların büyük bir kısmını gıda atıkları oluşturmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı [ÇSB], 2012). Bu nedenle gıda atıklarının enerji olarak geri kazandırılması büyük bir önem göstermektedir.

Kentsel atıklar ile metan gazı üretimi yapılabilmesi için biyometanizasyon yöntemi ve "Landfill Gaz Üretimi" yöntemi kullanılabilir. Biyometanizasyon yönteminde kentsel katı atıkların organik atık kısımları ayrıştırılıp oksijensiz ortamda anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretimi gerçekleştirilir. Burada organik atıkların ayrıştırılması ile metan gazı verimliliği doğru orantılıdır. Landfill gaz üretiminde ise, kentsel atıklar direk olarak atık depolarında birirmektedir. Bu biyoteknolojik yöntemde doğrudan oksijensiz ortamda anaerobik fermantasyon ile biyogaz üretimi sağlanmaktadır (Üregen Güler, 2020).

1.2.3.2. Bitkisel atıklar

Bitkisel atıklar ince parçalara ayrılmış sap, saman ve mısır atıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen artıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır. Bitkisel atıkların bazı bileşenleri anaerobik fermantasyon

sürecinde kullanılabilir. Örneğin, taze bitki yaprakları anaerobik fermentasyon için oldukça uygun olmaları sebebiyle biyogaz üretiminde kullanılabilir. Ancak yeşil atıkların sisteme eklenmeden önce bir ön işlemten geçirilmesi gerekir. Yeşil yaprakların küçük parçalara bölünmesi gerekli olabilmektedir çünkü uzun çimen parçaları vb. ürünler reaktördeki sıvı katmanı üzerinde birikebilmektedir ve bu nedenle pek tercih edilmemektedir. Ayrıca dal ve gövde gibi ağaç parçalarının fermentasyonları zor olması sebebiyle biyogaz üretimine daha az uygundur. Bu yüzden bitkisel atıkların kullanıldığı biyogaz tesislerinde işlem kontrolü büyük önem taşımaktadır (Kaya ve Öztürk, 2012, 19). Bitkisel atıklardan elde edilebilecek biyogaz verimi aşağıdaki tabloda verilmiştir (Gülen ve Arslan, 2005).

Tablo 1.3. Bitkisel atıklardan biyogaz verim oranları

Kaynak	Biyogaz verimi (Litre/Kg)	Metan oranı (Hacim %'si)
Buğday Samanı	200-300	65
Çavdar Samanı	200-300	60
Arpa Samanı	290-310	59
Mısır Sapları ve Artıkları	380-460	59
Algler	420-500	63
Keten, Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Atık Su Çamuru	310-800	65-80
Yerfıstığı Kabuğu	365	n/a
Ağaç Yaprakları	210-290	58
Sebze Artıkları	330-360	Değişken
Ziraat Artıkları	310-430	60-70

Türkiye sadece tarım sektöründe gerçekleştirilen yoğun faaliyetler ile değil, üretilen tarım ürünlerinin yüksek enerji potansiyeli ile de diğer ülkelerden ayrılmaktadır. Ülkemizde karasal büyüklüğün yaklaşık olarak %30.40'ünü tarım alanları oluşturmaktadır. Bu tarım alanlarının %66.44'ünü tahıllar ve diğer bitkisel ürünler, %15.81'ini nadas alanları, %3.40'ını sebzeler, %14.30'unu meyve bahçeleri ve %0.02'sini dekoratif bitkiler oluşturmaktadır. Bu veriler doğrultusunda Türkiye'nin tarımsal ürünlerinden elde edilebilecek biyogaz enerji potansiyeli oldukça yüksektir (Çakal, 2019).

1.2.3.3. Hayvansal atıklar

İnek, koyun, tavuk ve at gibi hayvanların dışkıları, hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklar ve mezbahane atıkları anaerobik fermantasyon sürecinde işlenebilmekte ve bu sebeple hammadde olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bitkisel atıklara göre hayvansal atıklar depolanırken pH düşmesine sebep olmaz, ayrıca azot içeriği yüksek ürün üretimine yardımcı olur (Kaya ve Öztürk, 2012). Hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz verimi Tablo 1.4’de gösterilmiştir (Gülen ve Arslan, 2005).

Tablo 1.4. Hayvansal kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri

Kaynak	Biyogaz verimi (Litre/Kg)	Metan oranı (Hacim %'si)
Sığır Gübresi	90-310	65
Koyun Gübresi	180-450	60
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70

Ülkemizde hayvan atıkları genel olarak tarım yapılan arazilere uygulanmakta veya enerjiye dönüştürülmeden yok edilmektedir. Ancak atıklardan yararlanmanın en iyi yollarından biri biyogaz enerjisi üretimidir (Salihoğlu, Teksoy ve Altan, 2018). Tablo 1.4’de görüldüğü gibi hayvansal kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri oldukça yüksektir.

1.2.3.4. Kanalizasyon atıkları

Biyo-ekonomi yaratırken atık yönetiminde önemli değişikliklerin yapılması gerektiği, atıkları yeniden kullanılabilir maddelere dönüştürmek için yerel çapta uygulamaların genişletilmesi, yeni finansal yapı, yeni normlar oluşturulması, toplumun eğitim seviyesinin yükselmesi, doğrusal ekonominin³ döngüsel ekonomiye⁴ dönüştürülmesi çevre dostu bir sisteme

³ Doğrusal ekonomi: Hammaddenin bir defa kullanıldığı ve sonrasında çöpe atıldığı bir sistemdir. Örneğin eve alınan bir eşyanın, kullanım süresi dolduğunda çöpe atılıyorsa bu eşya artık bir atıktır ve hem üreticinin hem tüketicinin bu eşyaya ihtiyacı yoktur (İşbankası, 2020).

⁴ Döngüsel Ekonomi: Endüstriyel iktisatta üretim, kullanım ve imha yerine dönüşümü esas almayı ifade etmektedir (Türkiye Döngüsel Ekonomi Platformu, t.y).

dönüşmek için gerekliliktir (Euverink ve Achinas, 2019). Döngüsel ekonomi kapsamında oluşturulması gereken yeni normlarda atık yönetimde yapısal değişiklikler gerçekleştirilmesi sağlanmalıdır. Biyogaz üretimi de organik atıklar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Ancak anaerobik fermentasyon için ihtiyaç duyulan hammadde seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli unsur hammaddenin içerisinde kesinlikle inorganik maddenin bulunmamasıdır. Kullanılan hammaddenin içerisine karışan az miktardaki kimyasal atık dahi üretim sisteminde arızalara sebep olur. Kanalizasyondan çıkan ürünler, biyogaz üretiminde kullanılabilir. Ancak çoğu zaman kanalizasyon atıkları biyogaz üretiminde pek tercih edilmez. Bunun nedeni geleneksel tuvalet sistemlerinde yüksek miktarda deterjan kullanılmasıdır. Kullanılan temizlik malzemeleri biyogaz üretiminde yardımcı olan yararlı bakterilerin yok edilmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle, bu sistemlerde biyogaz üretim verimi düşük olmakta ve daha yüksek hacimli reaktörlere gereksinim duyulmaktadır (Kaya ve Öztürk, 2012:20).

1.2.4. Biyogaz Üretiminde Kullanılan Teknolojiler

Oldukça karmaşık bir kimyasal işlem olan biyogaz üretimi için çeşitli anaerobik fermentasyon türleri mevcuttur. Fermentasyon, canlı bir organizma tarafından karmaşık kimyasalların daha basit yapıdaki kimyasallara parçalanma olayıdır. Biyo-teknolojide fermentasyonlar; kesikli (batch), beslemeli (fed-batch) veya sürekli (continuous) yöntemleri ile yürütülmektedir (“Ankara Üniversitesi Açık Ders”, t.y.). Burada hangi fermentasyon sürecinin uygulanacağı santral yetkililerine bağlıdır. Genel olarak beslemeli veya sürekli fermentasyon türü kullanımı yaygındır. Bunun nedeni beslenme hızının denetim altında yapıldığı ve büyüme oranının en yüksek seviyede olmasından dolayıdır (Sethi, 2018). Oksijensiz ortamda yapılan fermentasyonun çeşitleri aşağıdaki alt başlıklarda detaylı olarak ele alınmıştır.

1.2.4.1. Kesikli Fermentasyon

Kesikli fermentasyon organik atıkların ön hazırlık süreci gerçekleştirildikten sonra (sistemin pH, sıcaklık ve diğer değerlerinin optimize edilmesi) fermentör (üretim tankı) içerisinde bekletilmesidir. Çürütücüdeki bileşenlerin konsantrasyonu zamanla değişiklik gösterebilmektedir (Sethi, 2018). Bu süreç kullanılan organik maddenin cinsine, katı madde oranına ve sistem sıcaklığına göre değişmektedir. Kesikli fermentasyon sürecinde ortama substrat veya mikroorganizma ilavesi yapılmaz. Ancak oksijen, köpük önleyici ve pH ayarı

için asit veya bazlar ilave edilebilmektedir. Üretim tankında 15 gün bekletmenin sonucunda gaz açığa çıkmaya başlamaktadır. Çıkan metan gazı 60 gün boyunca devam etmektedir ve bu süre sonunda çıkan gazın verimi düşmektedir. Fermantasyon, ortamdaki besin elementleri tükenince sonlandırılır (“Ankara Üniversitesi Açık Ders”, t.y.). Bu durumda üretim tankı boşaltılarak tekrar organik atıklar ile doldurulması gerekmektedir. Kesikli fermantasyonun en önemli avantajı besleme miktarında sağladığı esnekliktir (Üregen Güler, 2020). Ancak sürekli fermantasyona kıyasla geniş bir alan gerektirmektedir. Buna rağmen sürekli fermantasyona oranla daha basit bir teknoloji kullanılır. Bu nedenle gelişmekte olan ülkeler için ucuz ve uygulanabilir (Kaya ve Öztürk, 2012).

1.2.4.2. Beslemeli Fermantasyon

Beslemeli fermantasyon sürecinde üretim tankı belirli bir miktarda doldurulur. Proses başlangıçta kesikli fermantasyonda olduğu gibi başlar. Daha sonra besin elementleri tükenmeye başladığında substrat ve mikroorganizmalar ortama azar azar takviye edilir (“Ankara Üniversitesi Açık Ders”, t.y.). Yarı sürekli-yarı kesikli fermantasyon olarak da adlandırılabilir. Çeşitli oranlara göre değişen bu süreç sonunda üretim tankı tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmalıdır (Gül, 2006).

1.2.4.3. Sürekli Fermantasyon

Bu fermantasyon türünde fermentörden gaz çıkışı başladığında günlük organik madde eklenir. Sisteme giren atık madde kadar gazı alınmış çökelti sistemden dışarı alınır (Üçgül, 2019). Organik madde reaktöre her gün verilir ve gerekli süre kadar bekletilir. Sürekli besleme yapılan tesislerin üstünlüğü sabit miktarda biyogaz üretimi sağlamasıdır. Hammadde cinsine göre karıştırma yapılarak tabakalaşma ve tıkanıklık önlenir (Kaya ve Öztürk, 2012:51).

1.2.5. Biyogaz ve Yan Ürünlerinin Kullanılması

Biyogaz üretimi ile elde edilen enerjinin yanı sıra işletme için kullanışlı olabilen yan ürünlerin de elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu nedenle biyogaz, diğer enerji kaynaklarına göre oldukça avantajlıdır. Çok yönlü bir yenilenebilir enerji kaynağı olan biyogaz, doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve

mekanik enerjiye çevrilerek kullanılması ve bunlara ek olarak da ortaya çıkan yan ürünlerin de çeşitli amaçlarla kullanılabilmesi mümkün olmaktadır (Gülen ve Çeşmeli, 2012).

Hammaddenin işlenmesi ile elde edilen ana ürünler elektrik, ısı ve yakıttır. İşlemler sonucunda elde edilen organik gübre (kompost), kül ve biyokömür ise yan ürünleri oluşturmaktadır. Bunlara ek olarak biyogaz çevre dostu yenilenebilir bir enerji kaynağı olması nedeniyle uluslararası geçerliliği olan karbon sertifikası ile gelir elde edilebilmektedir (Üregen Güler, 2020). Karbon emisyonlarını azaltmak ve doğayı korumak, kurumlar için oldukça önemlidir. Bu nedenle karbon emisyonlarını düşürmek amacıyla karbon vergisi alınması sözkonusudur. Karbon vergisi yüksek karbon kullanılan ürünlere, ikame ürünlere göre daha yüksek vergi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Bazı ülkelerde farklı türlerde karbon vergi uygulaması yapılmaktadır. Vergi oranları değişkenlik göstermektedir. Birleşik Krallık, Almanya, Danimarka, İsviçre, Fransa, Finlandiya, İrlanda, Hollanda, İsveç ve Norveç gibi ülkeler tarafından uygulanan karbon vergileri Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS)'ye destek olmaktadır. Türkiye'de karbon muhasebesi çerçevesinde, saha denetimlerindeki sıkıntılar, karbon ayak izi hesaplamasında ve maliyetlerin hesaplanmasında farklı vergi uygulamalarına neden olmakta ve ülke uygulamaları bu nedenle birbirlerinden farklılık göstermektedir. Dolayısıyla Türkiye'de ve Dünyada standart karbon muhasebe uygulamalarından bahsetmek henüz mümkün değildir (Gülbüz vd., 2019).

Biyogaz üretimi ile üretilen biyogübre kullanımı tarımsal arazilerde diğer gübrelere göre pek çok avantaj sağlamaktadır. Biyogübre kullanımı ile toprağın su tutma kapasitesi artmakta, toprağın su geçirgenliği iyileşmekte ve toprağın kolay tava gelmesi sağlanmaktadır. Ayrıca biyogübre mikroorganizma kaynağı olarak oldukça zengin bir yapıya sahiptir (Gümüşçü ve Uyanık, 2010).

1.2.5.1. Biyogazın Kullanılması

Biyoenerjinin LCA (Life Cycle Assessment)⁵ çalışmalarında özellikle biyogaz üretimi ve kullanımında bölgesel parametrelerin dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Her biyogaz santrali bulunduğu bölgenin iklim, toprak koşulları, stratejik konumu, hammaddeye yakınlığı, hammadde çeşitliliği vb. parametreleri ile LCA açısından farklılık göstermektedir.

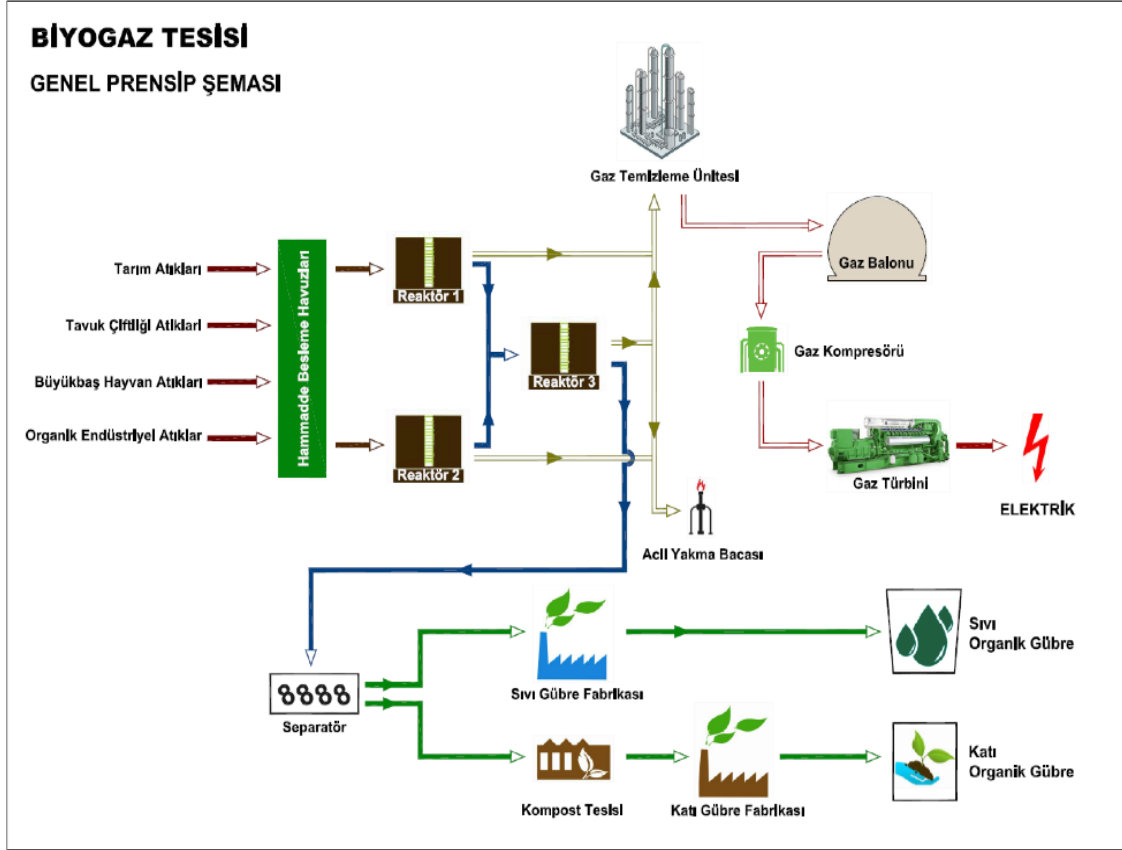
⁵ LCA: ISO14040/44 standartlarına uygun bir ürün veya bir hizmet üretiminde kullanılan hammaddelerin elde edilmesinden başlayarak ilgili tüm üretim, sevkiyat süreci, tüketici tarafından kullanımı sonrası atık olarak yok edilmesini de kapsayan döngüsünün farklı aşamalarındaki çevresel etkilerini belirlemek, raporlamak ve yönetmek için kullanılan bir yöntemdir (Regional Environmental Center [REC], 2017)

Dünya genelinde şehir merkezlerinden uzak kırsal alanlarda biyogaz üretimi gerçekleştirilmektedir (Dressler, Loewen ve Nelles, 2012). Türkiye’de de bulunan biyogaz tesisleri genel olarak kırsal bölgelerde yer almaktadır.

Biyogaz günümüzde öncelikli olarak, enerji üretiminde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra doğrudan yakılarak sıcak su ve sıcak hava elde etmede, kurutmada, buhar elde ederek ısı ve güç üretmede kullanılabilir. Petrol ürünleri ile çalışan tüm içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılarak mekanik iş ve elektrik elde edilmektedir. Biyogazın, LPG ve doğal gazla çalışan cihazlarda kullanılabilmesi için nem oranı ve yanıcılığı sebebi ile çeşitli modifikasyonlar gerekmektedir. Cihazlarda gerekli değişiklikler yapıldığı takdirde biyogaz LPG ve doğalgaz ile çalışan motorlarda da kullanılabilir. Bu nedenle biyogazın ulaşımında yakıt olarak kullanımı İsveç koşullarında araştırılmıştır. Özellikle kırsal alanlarda kullanılan diğer yakıtlara ekonomik bir alternatif olduğu tespit edilmiştir (Koçar, vd., 2010).

1.2.5.2. Yan Ürünlerin Değerlendirilmesi

Bir işletmenin üretimindeki verimlilik seviyesini belirleyen en önemli faktörlerden biri üretim prosesinde çıktı olarak elde edilen ürünün yanı sıra, üretimin her aşamasındaki artan maddelerin değerlendirilmesi, şirketin kâr-zarar politikasını ve aynı zamanda üretim sisteminin sürdürülebilir olmasını doğrudan etkilemektedir. Bu açıdan biyogaz üretim prosesi incelendiğinde, üretiminin çeşitli aşamalarında yan ürün elde edildiği gözlenmektedir (Şekil 1.5). Biyogaz CH_4 ağırlıklı olduğundan dolayı doğalgaza benzemektedir. Bu nedenle doğal gazın kullanıldığı birçok alanda kullanılabilir esnekliğine sahiptir. Genel olarak ısıtma, elektrik üretimi ve araçlarda yakıt olarak kullanılabilir (Yılmaz, 2019).



Şekil 1.5. Biyogaz üretim tesisi

Biyogaz üretiminde enerjinin yanı sıra sıvı gübre ve katı gübre üretimi sağlanmaktadır. Bu gübrelerin elde edilmesi biyogaz tesislerinde hammaddenin 28-45 gün reaktörde bekletilmesi ve bu sürenin sonunda ürün çıkışında seperatör gibi ekipmanlar ile katı ve sıvı faza ayrılması ile gerçekleşir. Üretilen gübre toprak açısından oldukça faydalı N, P, K⁶ ve organik madde miktarı baz alındığında zengin bir üründür (Kaplan, 2020).

Biyogaz sadece ısınma amacıyla gaz yakıtlar ile çalışabilen sistemlerde değil, termosifon ve şofbenlerde de kullanılabilir. Biyogaz, sobalarda kullanıldığında hidrojen sülfürün çevreye salınmasını önlemek amacıyla güvenli bir baca sisteminin kurulu olması gereklidir (Üregen Güler, 2020). Konvansiyonel sobalarda %8-22 civarında olan ısı verim, biyogaz sobalarında yaklaşık %45'tir. Örneğin; sığır atığının tezek olarak yakılmasında termal verim %10'lardadır. Aynı atıktan elde edilen biyogazın kullanıldığı ocaklarda ise sıcaklık verimi %55-65'e çıkabilmektedir (Koçar vd., 2010). Ayrıca kombine ısı ve güç ünitesinden çıkan

⁶ N: Azot

P: Fosfor

K: Potasyum

ısı kullanılarak üretim santralinin yakınlarında olan hanelerin ısınması sağlanabilir, küçük ölçekte bir sera işletmesinin ısınma ihtiyacı karşılanabilir (Dressler, Loewen ve Nelles, 2012).

1.2.6. Biyogaz Üretimi ve Potansiyeli

Günümüz endüstri dünyasında, enerji ve diğer kaynakların tüketimi önemli seviyelere ulaşmıştır. Bu nedenle bir yandan doğal kaynakların temini azalmaya başlamışken diğer taraftan çevreye verilen zararlar artmaya devam etmektedir. Son yıllarda enerji kullanımı, küresel ısınma, sera gazı emisyonları ve bunların küresel iklim değişikliğine olan etkileri odak noktası olmuştur. Enerji tüketiminden kaynaklanan çevresel etkilerin en düşük seviyede olabilmesi için gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaları büyük önem taşımaktadır (Kaya ve Öztürk, 2012).

1.2.6.1. Türkiye’de Biyogazın Genel Görünümü

Organik atıkların yeşil ekonomi kapsamında değerlendirilerek sıfır atık yaklaşımının⁷ benimsenmesi atıklar için yapılan inovatif çalışma olarak kabul edilmektedir. Biyogaz üretimi atıkların değerlendirilmesine katkı sağlaması nedeniyle yeşil ekonomi ve sıfır atık politikasını desteklemektedir. Sıfır atık yönetimi; israfın nedenlerini araştırarak kaynakları daha verimli kullanmayı, atık oluşumunu azaltmayı ve israfı önlemeyi amaçlamaktadır. Atık oluşumu durumunda ise, kaynağında atığın karakterize edilip ayrılması ile geri kazanımı hedeflemektedir (T.C. Resmi Gazete, 2019). Yeşil ekonomi, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme/UNEP)’te insan refahında artış sağlarken çevresel tehditleri ve problemleri önlemeye çalışan büyüme stratejisi olarak tanımlanmıştır (Baştan Töke, 2020).

Ülkemizde enerji tüketimi, enerji üretimine oranla daha hızlı artmaktadır. Bu durum Türkiye’nin başka ülkelerden enerji satın alması durumunu zorunlu hale getirmiştir. Türkiye ekonomisinin büyümesi ile yenilenebilir enerji üretimi arasında kısa ve uzun dönem için

⁷ Türkiye’de 12 Temmuz 2019 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanan Sıfır Atık Yönetmeliği’nde “*Sıfır Atık Yaklaşımı, üretim, tüketim ve hizmet aşamalarının tamamında atığın ortaya çıkmasının önüne geçilmesi veya azaltılması, yeniden kullanıma odaklanması, ortaya çıkan atıkların kaynağında biriktirilmesi, geri dönüşümü ya da yeniden kazanımı sağlayarak bertarafı gidecek atıkların en aza indirilmesi ile çevrenin, toplumun ve tükenen kaynakların korunmasını hedef edinen yaklaşım*” şeklinde tanımlanmıştır (T.C. Resmi Gazete, 2019).

pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır (Erdoğan, 2020). Ülkemizde bulunan enerji kaynaklarının daha etkin kullanılması, Türkiye'nin fosil enerji kaynaklarına olan bağımlılığını azaltarak ve gelecek nesiller için sürdürülebilir ve çevre dostu enerji sağlayacaktır (Breuer, 2011).

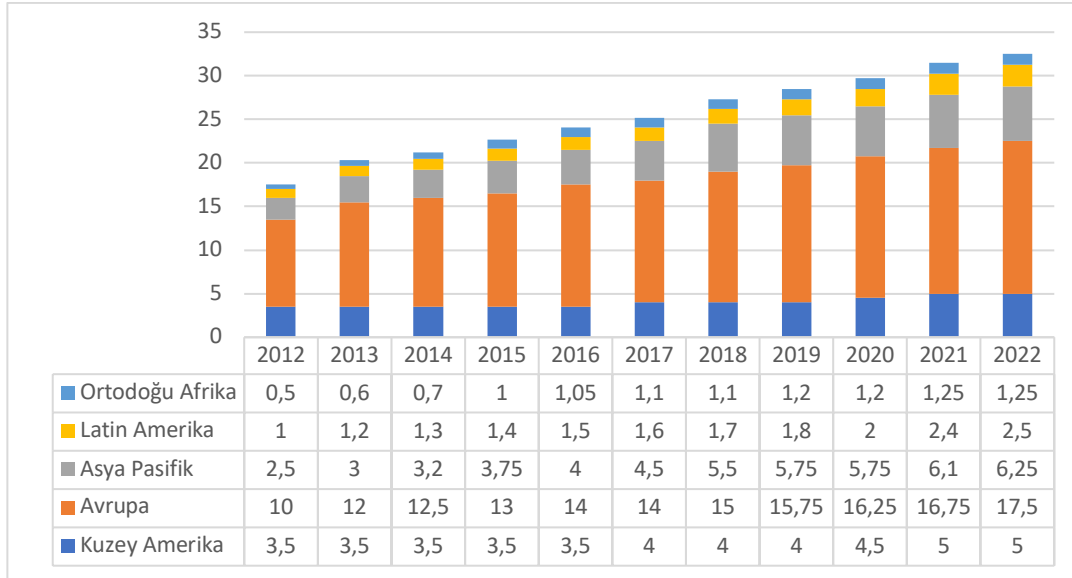
Türkiye'de sürdürülebilir kalkınmaya giden yolda nüfus artışına paralel olarak artan enerji ihtiyacını karşılamak için yapılan çalışmaların doğal kaynaklara zarar verilmeden “küresel düşün yerel hareket et” prensibi çerçevesinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Enerji kaynaklarının son 10 yıl içerisindeki gelişiminin incelenmesi sonucu atıklardan elde edilen enerji türlerine yeterli önem verilmediği gözlenmektedir. Günümüzde 1963 yılından itibaren kurulmuş 122 adet yenilenebilir atık enerji santrali bulunmaktadır ve yeni kurulum çalışmaları devam etmektedir (Yılmaz, 2019). Türkiye'de üretim kapasitesi yüksek ilk 100 atık enerji santraline ait bilgiler EK 1'de gösterilmiştir (Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu [EPDK], 2020). Ek 1 incelendiğinde; kurulu güç kısmında verilerin ikili olması lisans kapasitesinin başlangıçta yüksek alındığını, üretim miktarının ilerleyen dönemlerde artırılabilir olduğunu göstermektedir. Örneğin; Mamak Çöplüğü Biyogaz Santrali başlangıçta 36.00 MW kapasiteli lisans ile kurulum gerçekleştirmiştir. Ancak 25.00 MW'lık üretim gerçekleştirmektedir. Uzun vadede 36.00 MW'lık üretim gerçekleştirebilmektedir. Tablo incelendiğinde Türkiye'de bulunan en büyük biyogaz santrali 34 MW'lık üretim kapasitesi ile İstanbul Odayeri Çöp Gazı Santralidir. Sonrasında 31 MW'lık üretim ile Samsun'da yer alan Toros Tarım Atık Isı Santrali ve 30 MW'lık üretim ile Balıkesir'de bulunan Mutlular Biyokütle Enerji Santrali gelmektedir. Diğer atık enerji üretim tesisleri bu kadar yüksek üretim yapmamaktadır. Ülkemiz, büyük ölçekte biyogaz üretim tesislerine ihtiyaç duymaktadır. Santraller genel olarak kullanılan hammadde cinsine göre farklılık göstermektedir. Aksaray ilinde toplamda 8.89 MW'lık üç biyogaz tesisi bulunmaktadır. Bunlar; 6.40 MW değerinde Enfaş Enerji Santrali, 1.42 MW değerinde ITC Katı Atık Enerji Santrali ve 1.40 MW değerinde Yapılcılar Biyogaz Santrali'dir.

Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamındaki biyogaz tesislerinde ağırlıklı olarak hayvansal, bitkisel, tarımsal ve evsel organik atıklar kullanılmaktadır. Arıtma tesisi çamurları ve çöp gazı ile elektrik elde edilmesi henüz hayvansal, bitkisel, tarımsal ve evsel organik atıklardan enerji üretilmesine göre yaygın değildir ancak önde gelen üretim tesisleri atık su çamuru ve çöp ayrıştırma bazlı üretim yapmaktadır (Kaya, 2019).

1.2.6.2. Dünya’da Biyogazın Genel Görünümü

Küresel ısınmanın hızını yavaşlatmaya çalışan pek çok ülke 2016 yılında Paris’te düzenlenen iklim konferansında bir araya gelerek bir antlaşmaya imza attı ve küresel ısınmanın 2 derece ile sınırlı kalması için sera gazları salınımını azaltmayı taahhüt ettiler. Bugün bu ülkelerin önemli bir kısmı belirledikleri amaca ulaşmak için fosil yakıtların kullanımını azaltıp biyoyakıtların kullanımını artırmaya çalışmaktadır. Avrupa Birliği; biyoyakıtları karbon nötr olarak tanımlamaktadır (Ocak, 2020). Avrupa Birliği, biyogaz üretiminin artırılmasının topluma ve sektöre faydalar sağladığını bu nedenle devlet kurumları, şirketler, araştırma enstitüleri ve finans kurumları biyogaz sektöründe üretim yönetimine titizlikle destek vermektedir (Euverink ve Achinas, 2019) Avrupa Birliği ülkeleri, karbon emisyonlarını 2030 yılına kadar %55 oranında azaltma konusunda antlaşma imzalamıştır. Bu ülkeler, 2050 yılında karbon emisyonlarını nötr hale getirmeyi hedeflemektedirler (Euronews, 2021). Günümüzde Avrupa’da üretilen yenilenebilir enerji kaynaklarının yarısını biyo-enerji oluşturmaktadır (Ocak, 2020).

Dünyada yakın gelecekte fosil yakıtların fosil yakıtların tükenebileceği ve bunların yerini yeni enerji kaynaklarının alacağı öngörülmektedir (Erkul, 2012; Demirsoy, 2019). Öngörülmekte olan bu enerji kaynaklarından birisi de biyogaz enerjisidir. Günümüzde biyogaz üretimi gittikçe daha yaygın hale gelmektedir. IEA’ya göre biyoenerji %10 oranında dünyanın birincil enerji kaynağı olarak gösterilmiştir (Kutscher vd., 2018). Dünyadaki tesislerin %80’i Çin’de; %10’u Hindistan’da Nepal’de ve Tayland’da bulunmaktadır. Avrupa’daki biyogaz tesisi sayısına bakılacak olursa Almanya 2200 tesis ile en fazla üretim yapan ülke konumundadır. Dünyada biyogaz üretimi oranları ve bu oranların 2022 yılına kadar olan tahmini değerleri Şekil 1.6’da gösterilmiştir (Raboni ve Urbini, 2014).



Şekil 1.6. Dünya’da biyogaz üretimi

Şekil 1.6’da görüldüğü gibi Dünya’da biyogaz üretim oranları gün geçtikçe artmaktadır. Asya ve Avrupa bölgelerindeki ülkeler bu konuda çok daha özverili ve titiz çalışmaktadır. Haliyle bu durum ekonomilerine de olumlu yönde yansımaktadır.

Biyogaz tesisleri kırsal bölgelerde ekonominin yapısını değiştirmesi ve istihdam sağlaması bakımından da oldukça önemlidir. Günümüzde gelişmiş ülkelerde biyogaz üretim sistemleri çevreye olan katkısı nedeniyle devletler tarafından destek programları kapsamına alınmıştır. Bu programlar ile tesislerin ilk yatırım masrafları desteklenerek biyogaz tesislerinin yaygınlaştırılması amaçlanmış ve büyük ölçekli şirketlerin özellikle kırsal bölgelere yatırım yapması sağlanmıştır. Hindistan bölgesinde biyogaz tesisleri teknolojisi 100 yıldır bilinmesine rağmen 1960’lı yıllardan itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. Yaşanılan enerji krizleri ise devletin bu teknolojiyi bir alternatif olarak görmesine neden olmuştur. Bu sayede Tarım Bakanlığı’nın bünyesinde biyogaz tesisi kurulumu destek programlarının çıkarılmasına yol açmıştır. Bu yolla Hindistan’da 100.000 adedi aşmış biyogaz üretim tesisi vardır (Karadağ, 2019).

Çin ve Hindistan gibi ülkelerin yanı sıra Almanya, ABD, İsviçre ve Danimarka gibi ülkeler bu konuda yatırımları ciddiye almaktadır. 1000-10000 m³ kapasitede sanayi tipindeki biyogaz tesisleri ile yenilenebilir enerji üretimi yapmaktadır. Değişik teknolojiler kullanılarak planlanan biyogaz tesisleri, kapasitelerinin büyüklüklerine göre 3 grupta incelenmektedir. Bunlar; 6-12 m³ kapasiteye sahip olan aile tipi, 50-150 m³ kapasiteye sahip çiftlik tipi ve 100-200 m³ kapasiteye sahip köy tipi biyogaz tesisleridir. Asya ülkelerinde

daha çok aile tipi kullanılmaktadır. Avrupa ülkelerinde ise genellikle sanayi tipi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Çakal, 2019).

Ozon tabakasını delici özelliği olan metan salınımı, atıkların biyogazda değerlendirilmesiyle ortadan kaldırılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde karbon piyasası adı altında belirlenen limitten fazla karbon salınımı yapan firmalar biyogaz gibi karbon salınımını azaltan firmalara ödeme yapmak zorundadırlar. Örneğin; 2018 verilerine göre Danimarka'da elektrik üretiminin %46'sı ve ısı üretiminin %3 ü biyogaz ile sağlanmaktadır. Bu da Avrupa'nın %18,6 oranıyla en çok biyogaz tüketimi gerçekleştiren ülkenin Danimarka olduğunu göstermektedir (Korberg vd., 2020).

Korberg ve ark. (2020) tarafından yapılan araştırmada; 2050 yılında Danimarka'nın tamamen yenilenebilir enerji sistemini kullanacağı belirtilmektedir. Ayrıca, kullandıkları saat başı enerji sistemi analizi ile diğer enerji kaynaklarına göre en uygun maliyetli enerji üretiminin biyogaz ile sağlanacağını raporlanmıştır. Çünkü biyogaz en yüksek verimli enerji üretimini sağlamaktadır. Araştırmadaki sonuçlar gösteriyor ki az miktarda kullanılan biyogaz, elektrik üretiminde kullanıldığı gibi belirli bir yerin ısıtılmasına da imkân sağlamaktadır. Özellikle Asya'daki bazı ülkeler biyogaz teknolojisini yaygınlaştırmak için büyük ölçekli kampanyalar başlatmıştır. Atık yönetimi sürecinin devlet destekli yürütülmesi hızlı ve verimli hale gelmesi için atığın toplum düzeyinde yönetilmeye çalışılmaktadır (Kadam, 2021).

Biyogaz tesis sayısındaki en büyük ülkelerden biri Çin'dir. Bugüne kadar Çin'deki biyogaz tesislerinin sayısının 7.5 milyonu aştığı bilinmektedir. Çin, bu tesislerin kurulması ve yaygınlaştırılması için kırsal kesimi hedef kitle olarak kabul etmekte ve bu sayede yatırımların yüksek rakamlara ulaşmasını sağlamaktadır (Çakal, 2019). Ayrıca Çin, ikinci nesil biyoyakıt üretiminde dünya lideridir. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan raporda; ikinci nesil biyoyakıtlar kullanılan bütün biyoyakıtların yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır. Çin'in toplam enerji tüketiminin %2.4-%2.8' i atıklardan elde edilmektedir. Günümüzde Çin On Birinci Beş Yıllık Plan kapsamında yeni sosyalist köyler inşa etmektedir. Bu tür köylerde biyogaz üretimi ile enerji ihtiyaçları karşılanıp temiz ve sürdürülebilir kaynaklar kullanılarak yaşam döngüsünde yenilik hedeflenmiştir ve gelecekte akıllı şehirlere dönüşümün temelleri atılmıştır (Tagne vd., 2021).

1.2.7. Biyogaz Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Biyogaz üzerine yapılmış birçok araştırma vardır. Bu araştırmalardan bazıları Tablo 1.5'te gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde; yapılan çalışmaların genel olarak kurulum fizibilite raporları, maliyet analizleri ve potansiyel hesaplamalar üzerine gerçekleştirildiği görülmektedir. Yapılan çalışmalarda illerin ya da belirli bir bölgenin potansiyelleri ortaya çıkarılmakla birlikte, bu potansiyellerin incelenen örneklem temelinde günlük enerji üretimine olacak katkısı değerlendirilmiştir. Konu, büyükbaş küçükbaş ve kanatlı hayvansal atıkların biyogaz potansiyellerinin yanı sıra bitkisel atıkların biyogaz potansiyelleri açısından da ilgili literatürde incelendiği görülmektedir. Ayrıca hangi gıda atığının kullanılması durumunda metan gazı artışının ortaya çıktığı bazı araştırmalarda belirlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 1.5. Biyogaz üzerine yapılan çalışmalar

Yazarlar / Yıl	Araştırma Amacı	Veri Toplama Tekniği	Örneklem	Analiz Teknikleri	Bulgu
Gül (2006)	Tavuk gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır.	Bu çalışmada veri toplama tekniği gözlem ve ikincil verilerdir.	Afyon ili Başmakçı ilçesinde bulunan tavukçuluk kooperatifi.	Reaktördeki gaz çıkışları 90 gün gözlenmiş ve sonuçlar betimleyici istatistikler üzerinden değerlendirme yapılmıştır.	Farklı katı madde oranlarının biyogaz üretimine etkisi üzerinde durulmuş olup katı madde oranının artışı ile birlikte biyogaz üretim miktarının da arttığı fakat birim katı madde başına düşen üretimin azaldığı belirtilmiştir
Gümüşçi ve Uyanık (2010)	Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesinde büyükbaş hayvancılık ile üretim sağlayan tesislerde ortaya çıkan atıklardan biyogaz ve biyogübre elde edilmesinin bölge ve ülke ekonomisine katkısı araştırılmıştır.	İkincil veriler kullanılmıştır.	Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan büyükbaş hayvan ile üretim gerçekleştiren tesisler.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Bu çalışmada 1000 ve üzeri büyükbaş hayvan kapasitesine sahip tesislerin yatırımlarının amorti etme süresinin yaklaşık 5 yıl olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 1500 büyükbaş hayvandan yılda ortalama 6 124 000 m ³ biyogaz elde edilmektedir. Hayvan sayısı ortalama 100 000 olduğunda ise yılda 40 824 000 m ³ biyogaz üretilmektedir.
Öçal (2013)	Eskişehir ilindeki biyogaz enerji potansiyeli araştırılmıştır.	Eskişehir Tarım İl Müdürlüğünden ikincil veriler alınmıştır.	Eskişehir ilindeki büyükbaş hayvanlar	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Eskişehir ilindeki büyükbaş hayvanların gübreleri ile biyogaz üretimiyle günlük 276 454.23 kWh enerji üretimi olduğu bulunmuştur.

Tablo 1.5. (Devamı) Biyogaz üzerine yapılan çalışmalar

Yazarlar / Yıl	Araştırma Amacı	Veri Toplama Tekniği	Örnekle m	Analiz Teknikleri	Bulgu
Şenol vd. (2017)	Biyogaz üretimi için Ankara'nın başlıca organik atık kaynaklarının belirlenmesidir.	TÜİK verileri (ikincil veriler) kullanılmıştır.	Ankara ilinin hayvansal atıkları, mutfak atıkları, atık su arıtma tesisi ve tarımsal atıkları	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Ankara ilinde hayvansal atıklar ile günlük 277 384 m ³ , atık su arıtma çamuru ile günlük 515 220 m ³ , tarımsal atıklar ile 38 493 m ³ , mutfak atıkları ile 160 380 m ³ biyogaz üretim potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Bu değer 1 397 930 TL'ye karşılık geldiği vurgulanmış ve Ankara ilinin günlük enerji tüketiminin 211 496 MWh olduğu ve hesaplamaların sonucunda elde edilen günlük elektrik miktarının 4 657 MWh olduğu belirtilmiştir. Bu değer ise, Ankara ilinin günlük enerji tüketiminin %2.20'sine karşılık gelmektedir.
Aksu (2019)	Amasya ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	TÜİK verileri (ikincil veriler) kullanılmıştır.	Amasya ili ve ilçelerinde ki toplam hayvansal atık miktarı	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Amasya ilinin hayvansal atık potansiyelinden 2018 yılı verileri baz alınarak elde edilebilecek toplam elektrik enerjisi miktarı 90 474 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1.5. (Devamı) Biyogaz üzerine yapılan çalışmalar

Yazarlar / Yıl	Araştırma Amacı	Veri Toplama Tekniği	Örneklem	Analiz Teknikleri	Bulgu
Çakal (2019)	Türkiye'deki tarım alanlarında bitkisel atıkların değerlendirilmesi ile elde edilen biyogazın enerji potansiyelinin haritalandırılması amaçlanmıştır.	TÜİK'ten ikincil veriler alınmıştır.	Türkiye'deki 81 ilde en yüksek enerji verimine sahip bitkiler (arpa, ayçiçeği, buğday, mısır, pamuk)	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı ve Jenks optimizasyon metodu kullanılmıştır.	Biyogaz verimliliği en yüksek iller sırası ile Konya, Adana, Şanlıurfa, Tekirdağ, İzmir olarak belirtilmiştir. Bitkilerden elde edilecek toplam biyogaz miktarı 240 673 168 m ³ /yıl, bitkisel atıklardan üretililecek biyogazın enerji eşdeğeri 5 463.19 TJ/yıl olarak hesaplanmıştır.
Ergişi (2019)	Türkiye'de hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyelinin hesaplanması ve tesis yerinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır.	TÜİK'ten ikincil veriler alınmıştır.	Türkiye genelindeki 81 ile göre büyükbaş, küçükbaş ve tavuk gübreleri.	TOPSIS, AHS, PROMETHEE ve VIKOR yöntemleri kullanılmıştır.	Türkiye'de hayvansal gübre kaynaklı biyogaz enerji potansiyeli en yüksek illerin Diyarbakır, Şanlıurfa, Erzurum, Kars, Ağrı ve Van olduğu sonucuna varılmıştır.
Öztürk (2019)	Aydın ili biyogaz potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	TÜİK verileri (ikincil veriler) kullanılmıştır.	Aydın ilinde bulunan bitkisel ve hayvansal atıklar	Biyogaz enerji eşdeğer hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Aydın'daki bitkisel ve hayvansal atıkların kullanımı ile biyogaz üretimi hesaplamalara göre yıllık olarak hayvansal ve bitkisel atıklardan 13.74 PJ (Petajoule)'lük enerji potansiyelinin olduğu gözlenmektedir.

Tablo 1.5. (Devamı) Biyogaz üzerine yapılan çalışmalar

Yazarlar / Yıl	Araştırma Amacı	Veri Toplama Tekniği	Örneklem	Analiz Teknikleri	Bulgu
Sethi (2019)	Ticari kaynaklardan üretilen hammaddelerin biyogaz üretimine farklı oranlarda karıştırılması sonuçlarının araştırılması ve hangi gıda atığı kullanılırsa biyogaz/metan gazı oranının artırdığını belirlemek amaçlanmıştır.	Deney ve gözlem yöntemi	Palm Beach Country’de üretilmekte olan gıda atıklarının 1/3’ü.	Nihai Çamur Sindirilebilirlik Testi (Ultimate Sludge Digestibility Tests)	Palm Beach Country’deki gıda atıklarının üçte biri düzenli olarak biyogaz üretiminde kullanılırsa aylık hane başına 10 557 kWh/m ³ enerji artışı sağlanacağı belirtilmiştir.
Sorgulu (2020)	Çalışmanın amacı metan gazı ve hidrojen gazının organik atıklardan elde edilmesi ve enerji yoğunluklarının teorik olarak hesaplanması, daha temiz bir enerji taşıyıcısı olan hidrojenin metan gazı ile karıştırıldığında enerji verimini nasıl etkilediğinin belirlenmesidir.	İkincil veriler kullanılmıştır.	Enerji üretiminde kullanılan organik atıkların kimyasal içerikleri örnekleme oluşturmaktadır.	Matematiksel hesaplama (denklem çözümleri)	Metan gazının saf halde kullanılması yerine, başta atıklar olmak üzere yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen ile karıştırılıp hitan gazı olarak kullanıldığında enerjinin daha yüksek olduğu hesaplamalar ile ortaya konmuştur.

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Araştırma kapsamında, Aksaray ili ve ilçelerinde üretilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda Aksaray ili ve ilçelerine ait tarımsal üretim faaliyetlerini oluşturan hayvansal üretim miktarları belirlenmiştir. Bu kapsamda T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı ve Türkiye İstatistik Kurumu [TÜİK] verileri kullanılmıştır.

2.1.1. Aksaray İli Coğrafi Konumu

Aksaray ili, 37°-38' Kuzey ve 33°-35' Doğu koordinatlarına sahip olup Orta Anadolu bölgesinde Nevşehir, Niğde, Konya, Kırşehir ve Ankara illeri ile komşudur. İl merkezinin rakımı 980 metredir ve ilin yüzölçümü 7 997 km²'dir (Aksaray Belediyesi, 2020).

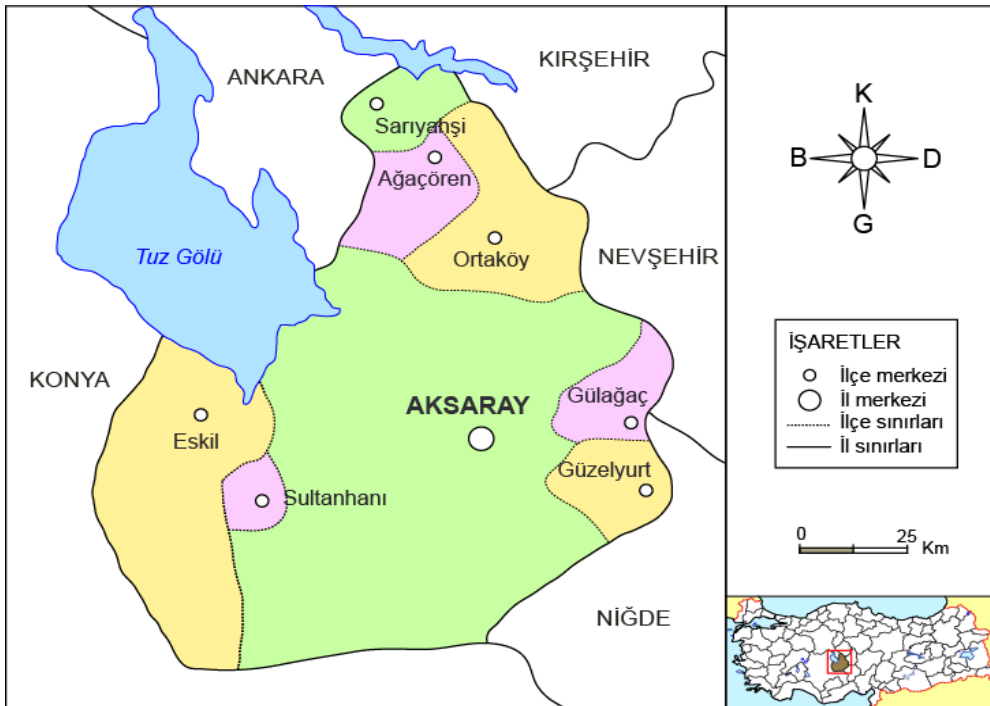
Aksaray yüzey şekilleri itibariyle genel olarak düzlüktür. İlin güneydoğusunda yer alan Hasandağı (3 268 m) ile ve Ekecik Dağı (2 137 m) bu yaylada yer alan yüksekliklerdir. Aksaray'ın orta kesimleri ovalıklardan oluşur. Bu nedenle tarıma elverişlidir. Güneyde Obruk Platosunun uzantısı ve Aksaray Ovası bulunur. Aksaray'ın Kuzeyinde Kırşehir, güneyinde Güney Anadolu (Toros) Dağları, doğusunda Doğu Anadolu Platosu ve batısında Tuz Gölü havzası yer alır. Aksaray'ın en önemli gölü Tuz Gölü'dür. Tuz Gölü ülkemizin en büyük ikinci gölüdür. Bu göl, deniz etkisinden mahrumdur. En önemli akarsuyu Ulırmak'tır. Mineraller açısından oldukça zengindir. Yüzölçümü 7 626 km²'dir ve 5 713 km² tarım arazisi bulunur ve karasal iklime sahiptir (Aksaray Belediyesi, 2020). Aksaray'ın konumu Şekil 2.1'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1. Aksaray ilinin Türkiye’deki konumu

2.1.2. Aksaray İli Genel Tanıtımı

Aksaray 15 Haziran 1989 yılında vilayet olmuştur. İl olduğu tarihten itibaren nüfusu artan bir grafik izlemiştir. Son 80 yılda Türkiye’nin nüfusu yaklaşık 5 kat artış göstermiştir. 2018 yılındaki ölçümlere göre Aksaray ili de bu süreçte 412 172 nüfusa ulaşmıştır. Yüzde olarak %49.69 erkek, %50.31 kadın olarak belirlenmiştir (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, 2020). Yüzölçümü 7 997 kilometrekare olan Aksaray ilinde kilometrekareye 52 insan düşmektedir. 2018 yılında TÜİK verilerine göre merkez ilçeyle birlikte 8 ilçeye sahiptir. Bu ilçeler başlıca Eski, Ağaören, Sarıyaş, Sultanhanı, Ortaköy, Gülağaç, Güzelyurt’tur (Aksaray İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2021). İlçeler Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Aksaray Belediyesi, t.y.).



Şekil 2.2. Aksaray ilçeleri

Aksaray ili doğası ve tarihi ile turistik açıdan oldukça önem taşımaktadır. Gerekli tanıtımların yapılmaması nedeniyle yeterince tanınmamaktadır. Bununla birlikte Ihlara Vadisi (Resim 2.1) bilinmekte ve dünyanın en büyük ikinci kanyonu olarak kabul edilmektedir (Kültür Portalı, 2020).



Resim 2.1. Dünyanın en büyük ikinci kanyonu Ihlara Vadisi

Aksaray Hristiyanlığın ilk yıllarında önemli bir din merkezi olmuştur. Zengin tarihi ile çeşitli medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır. Bu nedenle pek çok kilise, yeraltı şehri, tarihi tüneller ve köprüler, tarihi açıdan önem taşıyan mezarlar şehrin hemen her bölgesinde yer almaktadır (Aksaray Ticaret ve Sanayi Odası, 2021).

Türkiye'nin ikinci büyük gölü olan Tuz Gölü (Resim 2.2), Aksaray sınırlarında şehre estetik katmaktadır. Tuz Gölü popüler bir foto safari alanıdır. Bazı dönemler gölün içerisinde görülen mikro algler ile pembe görünümü nedeniyle her bölgeden turistin ilgisini çekmektedir. Ayrıca Tuz Gölü Türkiye'nin tuz üretiminde önemli bir kaynak oluşturmaktadır (Aksaray İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2020).



Resim 2.2. Tuz Gölü

Kültür turizmi açısından önemli olan diğer bir şey ise, Hasan Dağı'dır. Hasan Dağı (Resim 2.3), 3 268 m yüksekliği ile Orta Anadolu'nun en yüksek ikinci dağıdır. Hasandağı; dağcılık, yayla turizmi, orman içi dinlenme alanları ve geniş meşe ormanı ile turistlerin ilgisini çekmektedir (Eskin, Tuncer ve Demirçivi, 2017)



Resim 2.3. Hasan Dağı

Aksaray'da en önemli el sanatı, Taşpınar halılarıdır. Doğal boyalar ile tamamen el emeği olan ham yünden imal edilen bu değerli halılar (Resim 2.4), yurtdışına ihraç edilerek oldukça yaygın bir geçim kaynağı oluşturmaktadır.



Resim 2.4. Taşpınar Halı üretimi

Şehrin yöresel mutfağı şehir merkezinde ve ilçelerde benzerlik göstermektedir. Genel olarak sac yufkası, tandır çöreği, kalburbastı tatlısı, Aksaray tavaşı ve odun ateşinde özel içerikli pide çeşitleri kesinlikle tadılması gereken ve Türk damak tadına hitap eden yörenin önemli yiyecekleridir (Aksaray İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, 2020).

2.1.3. Aksaray İli İşletme Dağılımı

Aksaray hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olarak yapıldığı bir İç Anadolu şehridir. Aksaray ilindeki herbir ilçede bulunan işletme sayısı ve işletmelere ait ortalama hayvan sayısı rakamları T.C. Tarım ve Orman Bakanlığından alınmıştır (2021). Tablo 2.1.'de gösterilmiştir. Tabloya göre hayvancılık alanında en çok hayvana sahip işletmeler, Sultanhanı ve Merkez ilçesinde bulunmaktadır. Diğer ilçelerde bulunan tesislerdeki hayvansal üretim küçük ölçeklidir.

Tablo 2.1. İlçelere göre işletme sayısı ve hayvan miktarı

İlçe Adı	İşletme Sayısı (Büyükbaş Hayvan)	İşletmedeki Ortalama Büyükbaş Hayvan Sayısı	İşletme Sayısı (Küçükbaş Hayvan)	İşletmedeki Ortalama Küçükbaş Hayvan Sayısı	İşletme Sayısı (Kanatlı)	İşletmedeki Ortalama Kanatlı Hayvan Sayısı
Ağaçören	39	15	36	15-20	n/a	n/a
Eskil	66	50-55	61	25-30	n/a	n/a
Gülağaç	20	60-65	18	35	n/a	n/a
Güzelyurt	16	55	12	30-35	n/a	n/a
Merkez	125	65-70	111	55-60	5	40 000-45
Ortaköy	42	35-40	40	15-20	n/a	n/a
Sarıyahşi	14	25	13	15-20	n/a	n/a
Sultanhanı	8	130-135	8	70	n/a	n/a

Not: n/a not available (Ulaşılabılır değil)

2.1.4. Aksaray İli Hayvan Varlığı

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı verilerine göre, Aksaray ili Merkez ve alt bölgelerinde hayvan sayısı ilçelere göre farklılık göstermektedir. Büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinde en aktif ilçe Merkez ilçedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021).

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre 2020 yılı itibariyle, Türkiye’de bulunan toplam büyükbaş hayvan sayısı 18 milyon 615 bin baştır (TÜİK, 2021a). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı’ndan alınan veriler ışığında, Aksaray’daki büyükbaş hayvan sayısı 345 809 baş olduğuna göre, Türkiye’deki büyükbaş hayvanların %1.92’si Aksaray ilinde yetiştirilmektedir.

Benzer şekilde, 2020 yılı itibariyle, Türkiye’de bulunan toplam küçükbaş hayvan sayısı 55 milyon 63 bin baştır (TÜİK, 2021a). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı’ndan alınan veriler doğrultusunda Aksaray’daki küçükbaş hayvan sayısı 964 490 baş olduğuna göre, Türkiye’deki küçükbaş hayvanların %1.75’i Aksaray’da yetiştirilmektedir.

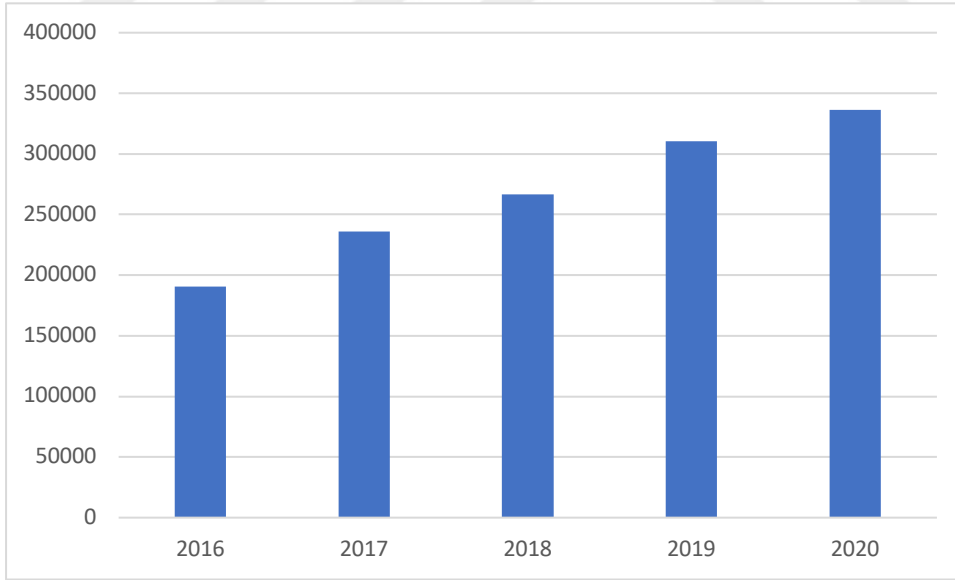
T.C. Tarım ve Orman Bakanlığının verilerine göre, 2020 yılı itibariyle, Türkiye’de bulunan toplam kanatlı hayvan sayısı 229 milyon 500 bin adet olarak belirtilmiştir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Türkiye İstatistik Kurumu’ndan alınan veriler doğrultusunda Aksaray’daki kayıtlı kanatlı hayvan sayısı 298 615 adet olduğu belirtilmiştir (TÜİK, 2021b). Kanatlı hayvanların 280 000’i beş büyük işletmede bulunmaktadır. Geri kalan kısmının ise köylerde ve kasabalarda yetiştirildiği ve kayıtlı olmayan kanatlı hayvan sayısının büyük bir çoğunlukta olduğu bilinmektedir. Ayrıca kayıtlı olmayan kanatlı hayvan sayısının büyük bir çoğunlukta olduğu da bilinmektedir. Aksaray’daki kayıtlı kanatlı hayvan sayısı dikkate alınarak hesaplama yapıldığında, Türkiye’deki kanatlı hayvanların %0.13’ü Aksaray ilinde yetiştirilmektedir. Bu rakam diğer iller ile karşılaştırıldığında oldukça düşüktür.

2.1.4.1. Aksaray İli Büyükbaş Hayvan Sayısı

Aksaray hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olarak yapıldığı bir şehirdir. Bu nedenle tonlarca hayvansal atık oluşmaktadır. Hayvansal atıkların değerlendirilmesindeki en etkili yöntem biyogaz ile enerji üretimidir (Ergişi, 2019). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığından alınan veriler ışığında, Aksaray’daki büyükbaş hayvan sayısının 345 809 baş olduğu belirlenmiştir. Büyükbaş hayvan sayısının en fazla olduğu ilçe, Merkez ilçedir. Merkez ilçeden sonra Eski gelmektedir (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2021). Ayrıca, Aksaray’da kayıtlı olan büyükbaş hayvan sayısının son 5 yıl içerisindeki değişimi Şekil 2.3.’te gösterildiği gibidir (TÜİK, 2021a).

Tablo 2.2. Aksaray ili büyükbaş hayvan sayısının ilçelere göre dağılımı

İl	İlçe Adı	Sığır Sayısı	Manda Sayısı	Büyükbaş Toplam
A K S A R A Y	Ağaçören	6 354	27	6 381
	Eskil	90 502	0	90 502
	Gülağaç	10 453	1	10 454
	Güzelyurt	8 868	0	8 868
	Merkez	183 669	1 266	184 935
	Ortaköy	21 774	0	21 774
	Sarıyahşi	2 435	5	2 440
	Sultanhanı	20 450	5	20 455
Toplam		344 505	1 304	345 809



Şekil 2.3. Son 5 yıl içerisinde Aksaray’da yetiştirilen büyükbaş hayvan sayısının yıllara göre dağılımı

TÜİK’den alınan verilere göre yıllar içerisinde Aksaray’da yetiştirilen büyükbaş hayvan sayısında yükseliş gözlenmiştir. 2016 yılında 200 bine yaklaşan büyükbaş hayvan sayısı, yıllar içinde istikrarlı bir artış göstererek, verilen teşviklerin de etkisiyle, 2020 yılında 350 bine yaklaşmıştır.

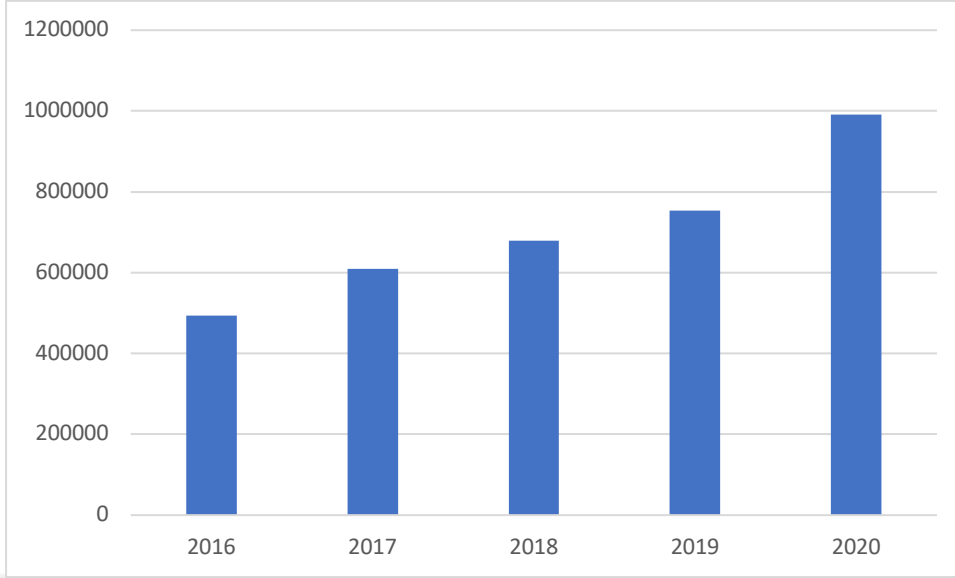
2.1.4.2. Aksaray İli Küçükbaş Hayvan Sayısı

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığından alınan veriler doğrultusunda, Aksaray'daki küçükbaş hayvan sayısının 964 490 baş olduğu belirlenmiştir. Aksaray iline ait küçükbaş hayvan sayısı Tablo 2.3'te verilmiştir. Küçükbaş hayvan sayısının en fazla olduğu ilçe, Merkez ilçedir. Eski ve Sultanhanı, Merkez ilçeyi takip etmektedir.

Tablo 2.3. Aksaray ili küçükbaş hayvan sayısının ilçelere göre dağılımı

İlçe Adı	Küçükbaş Hayvan Miktarı
Ağaçören	32 144
Eski	185 745
Gülağaç	33 484
Güzelyurt	30 169
Merkez	525 974
Ortaköy	72 153
Sarıyahşi	10 637
Sultanhanı	74 184
Toplam	964 490

Aksaray'da kayıtlı olan küçükbaş hayvan sayısının son 5 yıl içerisindeki değişimi Şekil 2.4.'te gösterildiği gibidir (TÜİK, 2021a). TÜİK'den alınan verilere göre yıllar içerisinde Aksaray'da yetiştirilen küçükbaş hayvan sayısında yükseliş gözlenmiştir. 2016 yılında 600 bine yaklaşan küçükbaş hayvan sayısı, yıllar içinde artış göstererek 2020 yılında 1 milyona yaklaşmıştır.



Şekil 2.4. Son 5 yıl içerisinde Aksaray’da yetiştirilen küçükbaş hayvan sayısının yıllara göre dağılımı

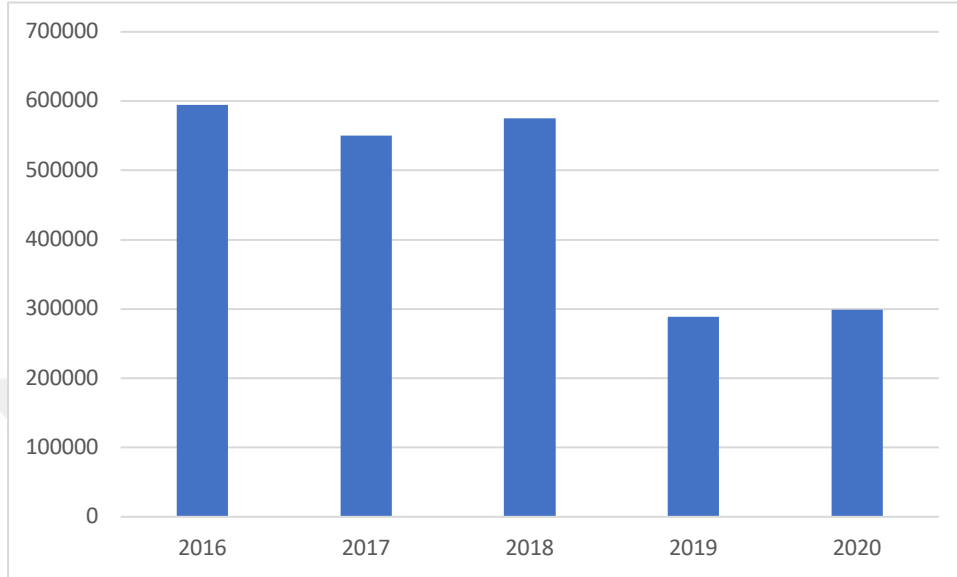
2.1.4.3. Aksaray İli Kanatlı Hayvan Sayısı

Türkiye İstatistik Kurumu’ndan alınan veriler doğrultusunda Aksaray’daki kayıtlı kanatlı hayvan sayısı 298 615 adet olduğu Tablo 2.4’te belirtilmiştir (TÜİK, 2021b). Tavuk sayısının en fazla olduğu ilçe, Merkez ilçedir.

Tablo 2.4. Aksaray ili tavuk sayısının ilçelere göre dağılımı

İlçe Adı	Tavuk Miktarı
Ağaçören	n/a
Eskil	3 500
Gülağaç	18 125
Güzelyurt	6 930
Merkez	252 100
Ortaköy	15 960
Sarıyahşi	n/a
Sultanhanı	2 000
Toplam	298 615

Aksaray’da kayıtlı olan kanatlı hayvan sayısının son 5 yıl içerisindeki değişimi Şekil 2.5.’te gösterildiği gibidir (TÜİK, 2021b).



Şekil 2.5. Son 5 yıl içerisinde Aksaray’da yetiştirilen kanatlı hayvan sayısının yıllara göre dağılımı

TÜİK’den alınan verilere göre yıllar içerisinde Aksaray’da yetiştirilen kanatlı hayvan sayısında ciddi bir düşüş gözlenmiştir. 2016 yılında 600 bine yaklaşan kanatlı hayvan sayısı, yıllar içinde yarı-yarıya düşüş göstererek 2020 yılında 300 bine yaklaşmıştır.

2.2. Yöntem

Türkiye; hem hayvancılık ürünlerinin enerji potansiyelinin yüksek olması hem de hayvancılık alanında yürütülen yoğun faaliyetler nedeniyle toplumsal ihtiyaçların karşılanması için gerekli potansiyele sahip bir ülkedir. Bu durum Türkiye’nin hayvansal ürünlerden elde edilen biyogaz enerji eşdeğeri açısından oldukça zengin olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, Aksaray ilindeki hayvancılık verileri incelenerek, bu veriler ışığında Aksaray ilinin biyogaz potansiyeli ortaya çıkarılmak amaçlanmıştır. Aksaray iline ait büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan verileri; TÜİK ve T.C. Tarım ve Orman Bakanlığından elde edilmiştir. Araştırmanın adımları Şekil 2.6.’da gösterilmiştir.

Hesaplamalar yapılırken daha önce biyogaz alanında yapılmış çalışmalarda kullanılan istatistiksel değerler kullanılmıştır. Büyükbaş hayvanların atıklarıyla ilgili istatistikler;

- Büyükbaş hayvanlardan 5.47 ton/yıl gübre elde edilmektedir (Öçal, 2013). Hayvan gübresinin kullanılabilirlik oranı %50 kabul edilmiş olup kuru madde oranı ise %15 olarak kabul edilmiştir (Öztürk, 2019).
- 1 ton büyükbaş hayvan atığından 33 m³ biyogaz elde edilmektedir (Ergişi, 2019).
- 1 m³ biyogazdan 4.7 kWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Öçal, 2013).
- 1 dakikada üretilen elektrik enerjisi için 17 L biyogaz gereklidir (Kadam, 2021).

Bu durumda büyükbaş hayvan başına elde edilecek gübre miktarı;

Toplam büyükbaş sayısı	x	1 büyükbaş hayvandan elde edilecek gübre ton/yıl
------------------------	---	--

Üretilecek biyogaz miktarı belirlenirken;

Büyükbaş hayvan başına elde edilen gübre (ton/yıl)	x	1 ton büyükbaş hayvan atığından elde edilen biyogaz
--	---	---

Biyogaz elektrik enerjisine dönüştürülürse;

Üretilen biyogaz miktarı	x	1 m ³ biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi
--------------------------	---	---

Aynı şekilde küçükbaş hayvan atıkları ile ilgili istatistikler;

- Küçükbaş hayvanlardan 0.7 ton/yıl gübre elde edilmektedir (Taşova, 2018).
- 1 ton küçükbaş hayvan atığından 58 m³ biyogaz elde edilmektedir (Salihoğlu, Teksoy ve Altan, 2018).
- 1 m³ biyogazdan 4.7 kWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Öçal, 2013).
- 1 dakikada üretilen elektrik enerjisi için 17 L biyogaz gereklidir (Kadam, 2021).

Yukarıdaki parametreler ile hesaplama yapıldığında, küçükbaş hayvan başına elde edilecek gübre miktarı;

Toplam küçükbaş sayısı	x	1 küçükbaş hayvandan elde edilecek gübre ton/yıl
------------------------	---	--

Üretilecek biyogaz miktarı belirlenirken;

Küçükbaş hayvan başına elde edilen gübre (ton/yıl)	x	1 ton küçükbaş hayvan atığından elde edilen biyogaz
--	---	---

Biyogaz elektrik enerjisine dönüştürülürse;

Üretilen biyogaz miktarı	x	1 m ³ biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi
--------------------------	---	---

Son olarak kanatlı hayvan yetiştiriciliğinin önemli kısmını tavuk yetiştiriciliği alması sebebi ile bu araştırmada yalnızca tavuklara ait istatistikler kullanılmıştır (Ziraat Mühendisleri Odası, t.y.). İlgili istatistikler;

- Kanatlı hayvanlardan 0.022 ton/yıl gübre elde edilmektedir.
- 1 ton kanatlı hayvan atığından 78 m³ biyogaz elde edilmektedir (Türk, Nacar Koçer ve Kaya Hanay, 2015).
- 1 m³ biyogazdan 4.7 kWh elektrik enerjisi elde edilmektedir (Öçal, 2013).
- 1 dakikada üretilen elektrik enerjisi için 17 L biyogaz gereklidir (Kadam, 2021).

Bu parametreler ile hesaplama yapıldığında, kanatlı hayvan başına elde edilecek gübre miktarı;

Toplam kanatlı hayvan sayısı	x	1 kanatlı hayvandan elde edilecek gübre ton/yıl
------------------------------	---	---

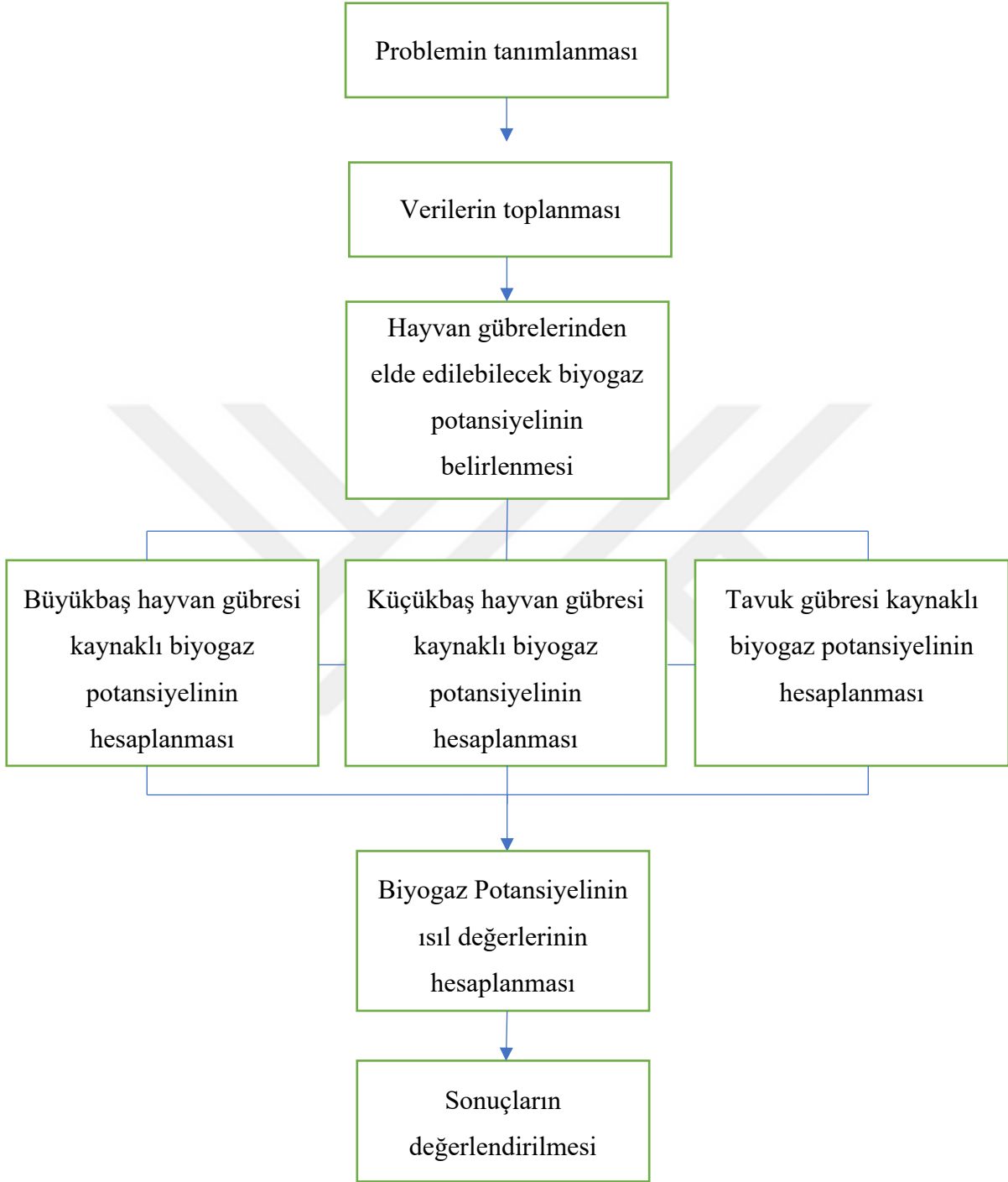
- Üretilecek biyogaz miktarı belirlenirken;

Kanatlı hayvan başına elde edilen gübre (ton/yıl)	x	1 ton kanatlı hayvan atığından elde edilen biyogaz
---	---	--

- Biyogaz elektrik enerjisine dönüştürülürse;

Üretilen biyogaz miktarı	x	1 m ³ biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi
--------------------------	---	---

Kalori değeri içindeki bileşenlere bağlı olarak 1 m³ biyogazın 5500-6000 kcal enerjiye sahip olduğu belirlenmiştir (Yılmaz vd., 2018). Biyogazın diğer yakıtlar ile karşılaştırıldığında 1 m³ Biyogaz; 4.70 kWh elektrik, 3.47 kg odun, 1.18 m³ doğalgaz, 0.70 L benzin, 0.65 L motorin, 1.46 kg kömür değerindedir (Gümüşçü ve Uyanık, 2010).



Şekil 2.6. Araştırma adımları

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Aksaray İli Biyogaz Potansiyeli ve Isıl değerleri

Aksaray ili biyogaz potansiyeli büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlar için incelenmiş olup, her biri alt başlıkta detaylı olarak ele alınmıştır.

3.1.1. Aksaray İli Büyükbaş Hayvan Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Hesaplanması

Hayvansal atıklardan biyogaz potansiyelinin belirlenmesi için öncelikle hayvan türüne göre atık miktarlarının belirlenmesi gerekir. Aksaray iline ait büyükbaş hayvan sayısı, bu hayvanlardan elde edilecek gübre ve elde edilecek biyogaz miktarı Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Büyükbaş hayvan gübresinden elde edilecek biyogaz miktarı

İlçe Adı	Büyükbaş Hayvan Sayısı	Elde Edilecek Gübre (ton/yıl)	Elde edilecek Biyogaz Miktarı (m ³)
Ağaçören	6 381	34 904.07	1 151 834.31
Eskil	90 502	495 045.94	16 336 516.02
Gülağaç	10 454	57 183.38	1 887 051.54
Güzelyurt	8 868	48 507.96	1 600 762.68
Merkez	184 935	1 011 594.45	33 382 616.85
Ortaköy	21 774	119 103.78	3 930 424.74
Sarıyahşi	2 440	13 346.80	440 444.40
Sultanhanı	20 455	111 888.85	3 692 332.05
Toplam	345 809	1 891 575.23	62 421 982.59

Aksaray ilindeki toplam büyükbaş hayvan sayısı 345 809'dır. Büyükbaş hayvanlardan 5.47 ton/yıl gübre elde edildiği varsayımı yapılarak, Aksaray ili için yıllık toplam elde edilebilir gübre miktarı $(345\,809 \times 5.47) = 1\,891\,575$ ton/yıl olarak bulunmuştur. Yine, 1 ton büyükbaş hayvan gübresinden 33 m³ biyogaz elde edildiği varsayımını kullanarak, Aksaray İli'nde üretilebilecek olan biyogaz miktarı;

$(1\,891\,575.23 \times 33) = 62\,421\,982.59 \cong \mathbf{62\,421\,983\,m^3/yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen biyogazın tamamı elektrik enerjisine dönüştürülecek olursa, üretilecek elektrik enerjisi ise; $(62\,421\,982 \times 4.70) = 293\,383\,318.20 \cong \mathbf{293\,383\,318\,kWh/yıl}$ olacaktır.

Kişi başı ortalama elektrik tüketimi 3 709 kWh/yıl'dır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018). Toplam büyükbaş hayvan gübresi ile elde edilebilir elektrik enerjisi 293 383 318 kWh/yıl'dır. Dolayısıyla Aksaray'a ait büyükbaş hayvan kaynaklı biyogaz potansiyeli ile $(293\,383\,318 / 3\,709) = 79\,100.38 \cong 79\,100$ kişinin elektrik tüketimi karşılanabilmektedir. Bu rakam, nüfusun (2020 verilerine göre Aksaray'ın nüfusu, 423 011) yaklaşık %19'una karşılık gelmektedir.

Çalışmada, elde edilen enerji değerlerinin yenilenemez enerji türleri ile eşdeğer hesaplaması da araştırılmıştır. Büyükbaş hayvan gübresi kullanılarak üretilecek biyogazın ısı değeri Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Büyükbaş hayvancılıktan elde edilecek biyogaz ısı değerleri

İlçe Adı	Üretilen Biyogaz m ³ /yıl	Elektrik Enerjisi Üretimi (kWh)	Gazyağı Üretimi (L)	Motorin Üretimi (L)	Benzin Üretimi (L)	Doğalgaz Üretimi (m ³)	Odun Üretimi (kg)	Kömür Üretimi (kg)
Ağaçören	1 151 834.31	5 413 621.26	714 137.27	760 210.65	863 875.73	1 359 164.49	3 996 865.06	1 681 678.09
Eskil	16 336 516.02	76 781 625.29	10 128 639.93	10 782 100.57	12 252 387.02	19 277 088.90	56 687 710.59	23 851 313.39
Gülağaç	1 887 051.54	8 869 142.24	1 169 971.96	1 245 454.02	1 415 288.66	2 226 720.82	6 548 068.84	2 755 095.25
Güzelyurt	1 600 762.68	7 523 584.60	992 472.86	1 056 503.37	1 200 572.01	1 888 899.96	5 554 646.50	2 337 113.51
Merkez	33 382 616.85	156 898 299.20	20 697 222.45	22 032 527.12	25 036 962.64	39 391 487.88	115 837 680.47	48 738 620.60
Ortaköy	3 930 424.74	18 472 996.28	2 436 863.34	2 594 080.33	2 947 818.65	4 637 901.19	13 638 573.85	5 738 420.12
Sarıyahşi	440 444.40	2 070 088.68	273 075.53	290 693.30	330 333.30	519 724.39	1 528 342.07	643 048.82
Sultanhanı	3 692 332.05	17 353 960.64	2289 245.87	2 436 939.15	2 769 249.04	4 356 951.82	12 812 392.21	5 390 804.79
Toplam	62 421 982.59	293 383 318.19	38 701 629.21	41 198 508.51	46 816 486.96	73 657 939.45	216 604 279.59	91 136 094.57

3.1.2. Aksaray İli Küçükbaş Hayvan Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Hesaplanması

Aksaray iline ait küçükbaş hayvan sayısı, bu hayvanlardan elde edilecek gübre ve biyogaz miktarı Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Küçükbaş hayvan gübresinden elde edilecek biyogaz miktarı

İlçe Adı	Küçükbaş Hayvan Miktarı	Elde Edilecek Gübre (ton/yıl)	Elde Edilecek Biyogaz Miktarı (m ³)
Ağaçören	32 144	22 500.80	1 305 046.40
Eskil	185 745	130 021.50	7 541 247
Gülağaç	33 484	23 438.80	1 359 450.40
Güzelyurt	30 169	21 118.30	1 224 861.40
Merkez	525 974	368 181.80	21 354 544.40
Ortaköy	72 153	50 507.10	2 929 411.80
Sarıyahşi	10 637	7 445.90	431 862.20
Sultanhanı	74 184	51 928.80	3 011 870.40
Toplam	964 490	675 143	39 158 294

Aksaray ilindeki toplam küçükbaş hayvan sayısı **964 490**'dır. Küçükbaş hayvanlardan 0.7 ton/yıl gübre elde edildiği varsayımı yapılarak, Aksaray ili için yıllık toplam elde edilebilir gübre miktarı $(964\,490 \times 0.7) = 675\,143$ ton/yıl olarak bulunmuştur. Yine, 1 ton küçükbaş hayvan gübresinden 58 m³ biyogaz elde edildiği varsayımını kullanarak Aksaray İli'nde üretilebilecek olan biyogaz miktarının $(675\,143 \times 58) = \mathbf{39\,158\,294\,m^3/yıl}$ olacağı hesaplanmıştır. Elde edilen biyogazın tamamı elektrik enerjisine dönüştürülecek olursa üretilen elektrik enerjisi ise;

$$(39\,158\,294 \times 4.7) = 184\,043\,981.80 \cong \mathbf{184\,043\,982\,kWh/yıl}$$
 olacaktır.

Kişi başı ortalama elektrik tüketimi 3 709 kWh/yıl'dır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018). Toplam küçükbaş hayvan gübresi ile elde edilebilir elektrik enerjisi 184 043 982 kWh/yıl'dır. Dolayısıyla Aksaray'a ait küçükbaş hayvan atığı kaynaklı biyogaz potansiyeli ile $(184\,043\,982 / 3\,709) = 49\,620.902) \cong 49\,621$ kişinin elektrik tüketimi karşılanabilmektedir. Bu rakam nüfusun yaklaşık %12'sine karşılık gelmektedir.

Elde edilen enerji değerlerinin yenilenemez enerji türleri ile eşdeğer hesaplaması araştırılmıştır. Küçükbaş hayvan gübresi kullanılarak üretilcek biyogaz enerji değerinin diğer yakıtlara göre ısı değerleri Tablo 3.4'te gösterilmiştir.



Tablo 3.4. Küçükbaş hayvancılıktan elde edilecek biyogaz ısı değerleri

İlçe Adı	Üretilen Biyogaz (m ³)	Elektrik Enerjisi Üretimi (kWh)	Gazyağı Üretimi (L)	Motorin Üretimi (L)	Benzin Üretimi (L)	Doğalgaz Üretimi (m ³)	Odun Üretimi (kg)	Kömür Üretimi (kg)
Ağaçören	1 305 046.40	6 133 718.08	809 128.77	861 330.62	978 784.80	1 539 954.75	4 528 511.01	1 905 367.74
Eskil	7 541 247	35 443 860.90	4 675 573.14	4 977 223.02	5 655 935.25	8 898 671.46	26 168 127.09	11 010 220.62
Gülağaç	1 359 450.40	6 389 416.88	842 859.25	897 237.26	1 019 587.80	1 604 151.47	4 717 292.89	1 984 797.58
Güzelyurt	1 224 861.40	5 756 848.58	759 414.07	808 408.52	918 646.05	1 445 336.45	4 250 269.06	1 788 297.64
Merkez	21 354 544	100 366 358.68	13 239 817.53	14 093 999.30	16 015 908.30	25 198 362.39	74 100 269.07	31 177 634.82
Ortaköy	2 929 411.80	13 768 235.46	1 816 235.32	1 933 411.79	2 197 058.85	3 456 705.92	10 165 058.95	4 276 941.29
Sarıyahşi	431 862.20	2 029 752.34	267 754.56	285 029.05	323 896.65	509 597.40	1 498 561.83	630 518.81
Sultanhanı	3 011 870.40	14 155 790.88	1 867 359.65	1 987 834.46	2 258 902.80	3 554 007.07	10 451 190.29	4 397 330.78
Toplam	39 158 294	184 043 981.80	24 278 142.29	25 844 474.02	29 368 720.50	46 206 786.91	135 879 280.28	57 171 109.28

3.1.3. Aksaray İli Kanatlı Hayvan Atıklarının Biyogaz Potansiyelinin Hesaplanması

Aksaray iline ait kanatlı hayvan sayısı, bu hayvanlardan elde edilecek gübre ve biyogaz miktarı Tablo 3.5’te verilmiştir.

Tablo 3.5. Kanatlı hayvan gübresi miktarı ve bu gübre ile elde edilen biyogaz miktarı

İlçe Adı	Tavuk Miktarı	Elde Edilecek Gübre (ton/yıl)	Elde Edilecek Biyogaz Miktarı (m ³)
Ağaçören	n/a	n/a	n/a
Eskil	3 500	77	6 006
Gülağaç	18 125	398.75	31 102.50
Güzelyurt	6 930	152.46	11 891.88
Merkez	252 100	5546.20	432 603.60
Ortaköy	15 960	351.12	27 387.36
Sarıyahşi	n/a	n/a	n/a
Sultanhanı	2 000	44	3432
Toplam	298 615	6 569.53	512 423.34

Aksaray ilindeki toplam kanatlı hayvan sayısı **298 615**’dir. Kanatlı hayvanlardan 0.022 ton/yıl gübre elde edildiği varsayımı yapılarak, Aksaray ili için yıllık toplam elde edilebilir gübre miktarı $(298\,615 \times 0.022) = \mathbf{6\,569.53 \cong 6\,570 \text{ ton/yıl}}$ olarak bulunmuştur. Yine, 1 ton kanatlı hayvan gübresinden 78 m³ biyogaz elde edildiği varsayımını kullanarak Aksaray İli’nde üretilebilecek olan biyogaz miktarının $(6569 \times 78) = \mathbf{512\,423 \text{ m}^3/\text{yıl}}$ olacağı hesaplanmıştır. Elde edilen biyogazın tamamı elektrik enerjisine dönüştürülecek olursa üretilecek elektrik enerjisi ise;

$(512\,423 \times 4.70) = 2\,408\,389.70 \cong \mathbf{2\,408\,390 \text{ kWh/yıl}}$ olacaktır.

Kişi başı ortalama elektrik tüketimi 3 709 kWh/yıl’dır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2018). Toplam tavuk gübresi ile elde edilebilir elektrik enerjisi 2 408 390 kWh/yıl’dır. Aksaray’a ait tavuk gübresi kaynaklı biyogaz potansiyeli $(2\,408\,390 / 3\,709) = 649.33 \cong 649$ kişinin elektrik tüketimi karşılanabilmektedir. Bu rakam nüfusun %0.15’ine karşılık gelmektedir.

Bu veriler ışığında yapılan hesaplamalar sonucunda kanatlı hayvan gübresi kullanılarak üretilcek biyogazın ısı değeri hesaplanması Tablo 3.6’da gösterilmiştir.



Tablo 3.6. Kanatlı hayvancılıktan elde edilecek biyogaz ısı değerleri

İlçe Adı	Üretilen Biyogaz (m ³)	Elektrik Enerjisi Üretimi (kWh)	Gazyağı Üretimi (L)	Motorin Üretimi (L)	Benzin Üretimi (L)	Doğalgaz Üretimi (m ³)	Odun Üretimi (kg)	Kömür Üretimi (kg)
Ağaçören	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Eskil	6 006	28 228.20	3 723.72	3 963.96	4 504.50	7 087.08	20 840.82	8 768.76
Gülağaç	31 102.50	146 181.75	19 283.55	20 527.65	23 326.88	36 700.95	107 925.68	45 409.65
Güzelyurt	11 891.88	55 891.84	7 372.97	7 848.64	8 918.91	14 032.42	41 264.82	17 362.15
Merkez	432 603.60	2 033 236.92	268 214.23	285 518.38	324 452.70	510 472.25	1 501 134.49	631 601.26
Ortaköy	27 387.36	128 720.59	16 980.16	18 075.66	20 540.52	32 317.09	95 034.14	39 985.55
Sarıyahşi	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Sultanhanı	3432	16 130.40	2 127.84	2 265.12	2 574	4 049.76	11 909.04	5 010.72
Toplam	512 433.34	2 408 389.70	317 702.47	338 199.41	384 317.51	604 659.55	1 778 108.99	748 138.09

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogaz enerjisinden faydalanmak sadece tarımsal değil, hayvansal açıdan da organik atıkların fazla bulunduğu ülkemiz için ayrı bir öneme sahiptir. Biyogaz üretimi, hayvansal ve tarımsal atıkların daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada Aksaray ili hayvansal atık durumu dikkate alınarak Aksaray'ın ilçeleri temelinde biyogaz üretim potansiyeli incelenmiştir. Bu çerçevede, Aksaray ili ve ilçelerindeki hayvan sayıları T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı ve TÜİK'ten alınmıştır. 2021 yılına ait elde edilen verilerden hareketle büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvansal atıkların biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır.

Aksaray ilindeki büyükbaş hayvan gübresi ile elde edilecek biyogaz miktarı 62 421 983 m³/yıl'dır. Büyükbaş hayvan gübresinden elde edilecek biyogazın ısı değerleri; 293 383 318 kWh elektrik enerjisi, 38 701 629 L gazyağı, 41 198 509 L motorin, 46 816 487 L benzin, 73 657 940 m³ doğalgaz, 216 604 280 kg odun ve 91 136 095 kg kömürdür.

Küçükbaş hayvan gübresi ile elde edilecek biyogaz miktarı 39 158 294 m³/yıl'dır. Küçükbaş hayvan gübresinden elde edilecek biyogazın ısı değerleri; 184 043 982 kWh elektrik enerjisi, 24 278 142 L gazyağı, 25 844 474 L motorin, 29 368 721 L benzin, 46 206 787 m³ doğalgaz, 135 879 280 kg odun ve 57 171 109 kg kömürdür.

Kanatlı hayvan gübresi ile elde edilecek biyogaz miktarı 512 423 m³/yıl'dır. Kanatlı hayvan gübresinden elde edilecek biyogazın ısı değerleri; 2 408 390 kWh elektrik enerjisi, 317 703 L gazyağı, 338 199 L motorin, 384 318 L benzin, 604 660 m³ doğalgaz, 1 778 109 kg odun ve 748 138 kg kömür olarak hesaplanmıştır.

Toplamda Aksaray'ın hayvan gübresi kaynaklı biyogaz üretim miktarı 102 092 700 m³/yıl ve toplamda elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyelinin 479 835 690 kWh/yıl olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. İlçeler temelinde değerlendirme yapıldığında hayvansal atıkların tümünde Merkez ilçenin en büyük biyogaz potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Aksaray'a ait toplam hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli ile **129 370** kişinin elektrik

tüketimi karşılanabilmektedir. Bu rakam nüfusun %31'ine karşılık geldiği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu araştırma bazı sınırlılıklara sahiptir. Bunlardan ilki, çalışmanın Aksaray iliyle sınırlandırılmasıdır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalar, ülkemizin farklı illeri açısından biyogaz potansiyelini inceleyebilir. İkinci olarak çalışmada biyogaz potansiyeli ve bu potansiyelin ısı değerleri incelenmiştir. Bundan sonra yapılacak olan çalışmalarda biyogaz konusu farklı boyutlardan (üretim sırasında karşılaşılan teknik sorunlar, personel istihdamı, makine aksanları) ele alınabilir. Son olarak bu çalışmada biyogaz potansiyeli, hayvansal atıklar temelinde incelenmiştir. Gelecekte yapılması planlanan çalışmalarda tarımsal atık ele alınarak, Aksaray ilinin tarımsal atık potansiyeli ortaya çıkarılabilir.



KAYNAKÇA

- Akbulut, G. (2008). Küresel değişimler bağlamında dünya enerji kaynakları, sorunlar ve Türkiye. *C.Ü. Sosyal Bilimler Dergisi*, 32(1), 117-137. 22.09.2020 tarihinde <http://eskidergi.cumhuriyet.edu.tr/makale/1688.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- Aksaray Belediyesi, Coğrafi Özellikleri. (t.y.). 14.07.2021 tarihinde <http://aksaray.bel.tr/cografi-ozellikleri-121> sayfasından erişilmiştir.
- Aksaray İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (t.y.). 04.02.2021 tarihinde <https://aksaray.ktb.gov.tr> sayfasından erişilmiştir.
- Aksaray Ticaret ve Sanayi Odası, (2021). 04.03.2021 tarihinde https://www.aksaraytso.org.tr/assets/upload/Pi34eMMfLqtcIHcoNSYRPQbCzks4rFvrY-A_ru3oQjFz_P4ZUjKQrCu2zsTV.pdf sayfasından ulaşılmıştır.
- Aksu, Y. (2019) *Amasya ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin belirlenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Altaş İ.H., Şahin E., (2019). Dünyada ve Türkiye’de dalga enerjisi, *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 465, 43-53.
- Ankara Üniversitesi Açık Ders, Proses Tasarım. (t.y.). 20.02.2021 tarihinde https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/3892/mod_resource/content/0/14.week.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Appels, L., Lauwers, J., Degreve, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Impe, JW., Dewil, R., (2011). Anaerobic digestion in global bioenergy production: Potential and research challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4295-4301. 01.05.2020 tarihinde www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003686?casa_token=1zSs9BRPJwkAAAAA:ow0Sopr6QV68usp0xb12D7zlffC_dig1Go8v1alTDyonGO0CY2XdhZPKS42r9fHLnRYCIjukopA sayfasından erişilmiştir.

- Aslanlı, Ş. (2009). *Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi üzerine çeşitli bor bileşiklerinin etkinliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Baştan Töke, L. (2020). *Kompost ve biyogaz tesislerinde veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- BiyogazDer, Biyogaz Enerjisi. (2020). 03.05.2021 tarihinde <https://biyogazder.org/biyogaz-enerjisi/> sayfasından erişilmiştir.
- Breuer, T. (2012). Animal waste based biogas potential in Turkey, *Turkish-German Biogas Project*, 03.01.2021 tarihinde www.biyogaz.web.tr sayfasından erişilmiştir.
- Çakal, S. (2019). *Türkiye’de bitkisel atıklardan elde edilen biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Çanka, F. (2011). Biyogaz önemi genel durumu ve Türkiye’deki yeri, *Mühendis ve Makine Dergisi* 52(617), 94-106.
- Çelikkaya, H. (2016). *Biyogaz*, 16.09.2020 tarihinde www.fka.gov.tr sayfasından erişilmiştir.
- Demirsoy, A. (2019). *2035 Sonun başlangıcı*, Ankara: Asikitap.
- Dressler D., Loewen A. ve Nelles M. (2012). Life cycle assesment of the supply and use of bioenergy: Impact of regional factors on biogas production, *The International Journal Of Life Cycle Assesment*, 17, 1104-1115.
- Enerji Atlası, Hidrolik enerji santralleri. (2019). 20.06.2021 tarihinde <https://www.enerjiatlası.com/hidroelektrik/> sayfasından erişilmiştir.
- Enerji Atlası, Ükelere göre jeotermal enerji. (2021). 20.06.2021 tarihinde <https://www.enerjiatlası.com/ukelere-gore-jeotermal-enerji.html> sayfasından erişilmiştir.
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK). (2020). 15.11.2020 tarihinde <http://www.epdk.gov.tr> sayfasından erişilmiştir.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2018). 12.08.2021 tarihinde

<http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari> sayfasından erişilmiştir.

Environmental Impact Assessment (2020). What is energy?. 08.04.2021 tarihinde www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/ sayfasından erişilmiştir.

Erdoğan, N. (2020). *Türkiye’de yenilenebilir enerjiye yönelik teşvikler ile yenilenebilir enerji üretimi arasındaki etkileşim ve finansal yansımaları*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Ergişi, B. (2019). *Türkiye’de hayvansal atıklardan biyogaz potansiyelinin hesaplanması ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak tesis yerinin belirlenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

Erhan, M. (2019). Ağrı ili büyükbaş hayvan varlığı ve hayvansal atıklardan biyogaz ve elektrik üretiminin Ağrı ili ve ülke ekonomisine katkısı, *Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 207-216.

Erkul, H. (2012). Jeotermal enerjinin ekonomiye katkıları ve çevresel etkileri: Denizli-Kızıldere jeotermal örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19), 1-30.

Eskin, B., Tuncer, M., ve Demirçivi, B. M., (2017). Alternatif turizm çeşidi olarak ekolojik turizm: Hasan Dağı örneği, *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(3),15-26.

Euronews, AB üyeleri karbon emisyonlarının 2030 yılına kadar en az %55 düşürülmesi. (2021). 21.04.2021 tarihinde <https://tr.euronews.com/2021/04/21/ab-uyeleri-karbon-emisyonlar-n-n-2030-y-l-na-kadar-en-az-ndan-yuzde-55-dusurulmesi-hedefin> sayfasından erişilmiştir.

European Marine Energy Centre Ltd. (EMEC), Marine energy, (t.y.). 26.04.2021 tarihinde <http://www.emec.org.uk> sayfasından erişilmiştir.

Euverink, G. ve Achinas, S. (2019). *Rambling facets of manure based biogas production in Europe: A briefing*. Engineering and Technology Institute Groningen, Faculty of Science and Engineering, University of Groningen, Netherlands.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Sustainable development goals. (t.y.). 14.04.2021 tarihinde <http://www.fao.org/home/en/> sayfasından erişilmiştir.

- Global Wind Energy Council (GWEC), Global wind report 2021. (2021). 25.06.2021 tarihinde <https://gwec.net/global-wind-report-2021/> sayfasından erişilmiştir.
- Gül, N. (2006). *Tavuk gübresinden biyogaz üretim potansiyelinin araştırılması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
- Gülen, J. ve Arslan, H. (2005) Biogas, *Journal Of Engineering And Natural Sciences*, 4(9),121-129.
- Gülen, J. ve Çeşmeli, Ç. (2012). Biyogaz hakkında genel bilgi ve yan ürünlerin kullanım alanları, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5(1), 65-84.
- Gümüüşçü, M. ve Uyanık, S. (2010). Güneydoğu Anadolu Bölgesi hayvansal atıklardan biyogaz ve biyogübre eldesi, *Makine Mühendisleri Odası*, 9(27), 59-65.
- Gürbüz, C., Karataş Aracı Ö.N. ve Bekçi İ., (2019). Dünya’da ve Türkiye’de karbon ticareti ve karbon muhasebesi uygulamaları üzerine araştırma, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(28), 424-438.
- Gürdallı F. (2009). *Avrupa birliği dış politikasında enerji faktörü*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- Güvenek, B. (2011). Devletin regülasyonlar yoluyla piyasalara müdahalesi ve Türkiye enerji piyasaları, *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 9(18), 45-62.
- International Energy Agency (IEA), Energy technology perspectives. (2020b). 16.04.2021 tarihinde <https://www.iea.org> sayfasından erişilmiştir.
- International Energy Agency, Global energy & CO2 status report. (2019). 09.08.2020 tarihinde www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019 sayfasından erişilmiştir.
- International Energy Agency (IEA), Other renewables (2020a). 23.07.2021 tarihinde <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/other-renewables> sayfasından erişilmiştir.
- International Energy Agency (IEA), World energy outlook 2018. (2018). 19.03.2020 tarihinde <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018> sayfasından erişilmiştir.

- İşbankası, Sürdürülebilir yaşama katkı: Döngüsel ekonomi. (2020). 30.06.2020 tarihinde <https://www.isbank.com.tr/blog/dongusel-ekonomi-nedir> sayfasından erişilmiştir.
- İşgör, Y.G. (t.y.). Genel üniversite kimyası: Termodinamik temel konular, 10.06.2021 tarihinde https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/103287/mod_resource/content/1/Temel%20termodinamik%20ve%20termokimya-biyoenerjetige%20giris.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Jiankun, H. (2021). Düşük karbon dönüşümüne giden yol, *China Today*, 51(1), 16-19.
- Kadam, A. A. (2021). Generation of biogas and its utilization as a source of energy, *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 03(01).
- Kanatlı Hayvan Yetiştiriciliği, Ziraat Mühendisleri Odası. (t.y.). 11.08.2021 tarihinde https://www.zmo.org.tr/resimler/ekler/fc664916bce8635_ek.pdf?tipi=14&sube= sayfasından erişilmiştir.
- Kaplan, G., Çoban, V. ve Çağman, S. (2019). *Hayvansal kaynaklı biyogaz üretim tesislerinde üretilen gübrenin değerlendirilme metotları ve fizibiliteye olan etkisinin irdelenmesi*. Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Karadağ, F. (2019). *Bursa ili merkezi biyogaz tesisleri planlama modelinin geliştirilmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.
- Kaya, D. ve Öztürk H., (2012). *Biyogaz teknolojisi*, Kocaeli: Umuttepe Yayınları.
- Kaya, D. (2019). *Büyük ölçekli bir biyogaz tesisinin teknik ve ekonomik analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kellogg, K. (2018). *101 Ways to go zero waste*, California: Orenda.
- Koçar, G., Eryaşar, A., Ersöz, Ö., Arıcı, Ş. ve Durmuş, A. (2010). *Biyogaz teknolojileri*, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.
- Koç, E., Kaya, K. (2015). Enerji kaynakları – Yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.

- Korberg, A.D., Skov, I.R. ve Mathiesen, B.V. (2020). The role of biogas and biogas-derived fuels in a 100% renewable energy system in Denmark. *Energy*, 12.01.2021 tarihinde https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220305338?casa_token=UeoL9MpJZ90AAAAA:MonLnqszLen39IZnCcRkv1YP6ajHKJ6qPXPDisUy8qbg68COqvIEw2KqeHry0fg_BFo-tgiBYY sayfasından erişilmiştir.
- Kutscher, C.F., Milford, J.B. ve Kreith, F. (2018). Principles of sustainable energy systems. Colorado: CRC Press.
- Kültür Portalı, İhlara Vadisi – Aksaray. (t.y.). 03.02.2021 tarihinde <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/aksaray/gezilecekyer/ihlara-vadisi> sayfasından erişilmiştir.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Jeotermal enerji. (t.y.). 09.02.2020 tarihinde www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari sayfasından erişilmiştir.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Enerji ve enerji kaynakları. (t.y.). 16.06.2021 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=enerjikaynaklari> sayfasından erişilmiştir.
- Ocak, M. E. (2020). Biyokütle enerjisi gerçekten çevre dostu mu?. *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi* 632. sayı 48-59.
- Olabi, A.G. (2016). Energy quadrilemma and future of renewable energy, *Energy*, 108(1), 1-6.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Green grown and energy. (t.y.). 16.06.2021 tarihinde <https://www.oecd.org/greengrowth/greening-energy/greengrowthandenergy.htm> sayfasından erişilmiştir.
- Öçal, F. (2013). *Biyogaz enerjisi üretimi ve Eskişehir ili için Uygulama*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Önen, S. (2016). *Hamburg'daki biyogaz tesisi için hat üstü kontrol stratejisinin işletilmesi ve geliştirilmesi*, Enerji Bilim ve Teknoloji Programı, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Özçelik, T. (2020). *Konya ili Beyşehir ilçesinin hayvan gübrelerinin biyogaz enerji potansiyelinin belirlenmesi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

- Özgür, E. (2020). Türkiye’de güneş enerjisi, *Makine Mühendisleri Odası*, 297-316. 22.02.2021 tarihinde https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/TEG-2020-12_Türkiye%27de%20Güneş%20Enerjisi_Evren%20Özgür.pdf sayfasından erişilmiştir.
- Özkaya, Y. (2004). Yenilenebilir enerji kaynakları, *Uluslararası Ekonomik Sorunlar Dergisi*, 16.05.2021 tarihinde <https://www.mfa.gov.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.tr.mfa> sayfasından erişilmiştir.
- Öztürk, B. (2019). *Aydın ili biyogaz potansiyelinin belirlenmesi*, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
- Raboni, M. ve Urbini, G. (2014). Production and use of biogas in Europe: A survey of current status and perspectives, *Revista Ambiente & Água - Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 9(2), 191-202.
- Rasyonalist, Enzim ve substrat nedir? Özellikleri ve görevleri. (t.y.). 20.06.2021 tarihinde <https://rasyonalist.org/yazi/enzim-nedir/> sayfasından erişilmiştir.
- Regional Environmental Center (REC Türkiye), Yaşam döngüsü analizi. (2017). 20.06.2021 tarihinde <https://rec.org.tr/2017/02/02/yasam-dongusu-analizi/> sayfasından erişilmiştir.
- Salihoğlu, N. K., Teksoy, A. ve Altan K. (2018). Büyükbaş ve küçükbaş hayvan atıklarından biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesi: Balıkesir ili örneği. *ÖHÜ Müh. Bilim Dergisi* 8(1), 31-47.
- Selam, A., Özel, S. ve Arıoğlu Akan Ö. (2013). Yenilenebilir enerji kullanımı açısından Türkiye’nin OECD ülkeleri arasındaki yeri, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2013 Özel sayısı, 317-334.
- Sethi, R. (2018). *Biogas production from organic waste, meat and fog by anaerobic digestion and ultimate sludge digestibility*, Master Thesis, Atlantic University The Collage of Engineering and Computer Science, Florida.
- Sorgulu, K. (2020). *Anaerobik sistemlerde biyogaz içeriğinin enerji üretim sistemlerine etkisi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Şenol, H., Elibol, E., Açıkel, Ü. ve Şenol, M. (2017). Biyogaz üretimi için Ankara’nın başlıca organik atık kaynakları, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2):15-28.

- T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Nüfus. (2020). 26.05.2021 tarihinde <https://aksaray.ktb.gov.tr/TR-243558/nufus.html> sayfasından erişilmiştir.
- Tagne, R.F.T., Dong, X., Anagho, S.G., Kaiser, S. ve Ulgiati, S. (2021). Technologies, challenges and perspectives of biogas production within an agricultural contex. The case of China and Africa” *Environment, Development and Sustainability*, 23(2).
- Taşova, M. (2018), Yerel bir küçükbaş hayvancılık işletmesinin biyogaz potansiyelininin belirlenmesi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 5(3):268-272.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, (2020). 28.05.2021 tarihinde <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tarım%20 r nleri%20Piyasaları/2020Ocak%20Tarım%20 r nleri%20Raporu/Tavuk%20Eti%20Tarım%20 r nleri%20Piyasa%20Raporu%202020%20ocak.pdf> sayfasından erişilmiştir.
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Hayvan Sayısı Raporu. (2021). 29.05.2021 tarihinde <https://www.tarimorman.gov.tr> sayfasından erişilmiştir.
- Topaloğlu, B. ve  mren, V. (2011). Samsun ilinde biyogaz enerjisi potansiyeli ve uygulanabilirliği, Samsun Sempozyumu: 30 Eylül 2005 – Samsun.
- Torunoğlu Gedik,  . (2015). *Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları ve çevresel etkileri*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi,  stanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,  stanbul.
- Tunç, M.,  amdalı,  ., Liman, T. ve Değer, A. (2006). Electrical energy consumption and production of Turkey vs. World, *Energy Policy*, 34(17), 3284-3292.
- Türkiye  statistik Kurumu (T  K), Aksaray Kişi Başına Elektrik Tüketimi. (2020). 26.05.2021 tarihinde <https://cip.tuik.gov.tr/#> sayfasından erişilmiştir.
- Türkiye  statistik Kurumu (T  K), Aksaray Tavuk Sayısı. (2021b). 26.06.2021 tarihinde <https://cip.tuik.gov.tr/#> sayfasından ulaşılmıştır.
- Türkiye  statistik Kurumu (T  K), Hayvansal  retim  statistikleri. (2021a). 23.06.2021 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Animal-Production-Statistics-December-2020-37207> sayfasından ulaşılmıştır.
- Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB), Rakamlarla rüzgâr enerjisi. (2021). 25.06.2021 tarihinde <https://www.tureb.com.tr> sayfasından erişilmiştir.

- Türk, H., Nacar Koçer, N. ve Kaya Hanay, Ö. (2015). Elazığ ilinde faaliyet gösteren tavuk çiftliklerindeki atıklardan elde edilebilecek enerji potansiyelinin değerlendirilmesi, *Fırat Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi* 27(1), 1-7.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇSB), Çevresel göstergeler. (2012). 16.04.2021 tarihinde <https://csb.gov.tr> sayfasından erişilmiştir.
- Türkiye Döngüsel Ekonomi Platformu, Döngüsel ekonomi nedir?. (t.y.). 30.06.2021 tarihinde https://donguselekonmiplatformu.com/knowledge-hub/article_1-what-is-the-definition-of-a-circular-economy_11.html?page=3 sayfasından erişilmiştir.
- Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), Türkiye Elektrik Üretim İstatistikleri. (2019). 09.08.2020 tarihinde www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri sayfasından erişilmiştir.
- T.C. Resmi Gazete, Sıfır Atık Yönetmeliği. (2019). 06.07.2021 tarihinde <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/07/20190712-9.htm> sayfasından erişilmiştir.
- Üçgül, V. (2019). *Tekirdağ ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Üregen Güler, N. (2020). *Yerli kaynaklardan biyogaz üretimi ve oksijenli-biyogaz yanması*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- World Wildlife Fund (WWF), Yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği. (t.y.). 20.06.2021 tarihinde https://www.wwf.org.tr/ne_yapiyoruz/iklim_degisikligi_ve_enerji/yenilenebilirnerji_ve_enerjiverimlilik/ sayfasından erişilmiştir.
- Yapılcanlar Grup, Biyogaz nasıl elde edilir?. (2020). 06.06.2021 tarihinde <http://www.yapilcanlar.com.tr/biogaz/> sayfasından erişilmiştir.
- Yılmaz, A. (2019). Türkiye’de biyogaz üretimi ve kurulu santrallerin ürettiği elektrik enerjisi, *Ecological Life Sciences*, 14(1), 1-28.
- Yılmaz, A., Ünvar, S., Koca, T. ve Koçer, A. (2018). Türkiye’de biyogaz üretimi ve biyogaz üretimi istatistik bilgileri. *Enerji ve Çevre Dünyası Dergisi*, 143(1), 28-44.

Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi, *Ankara Üniversitesi Çevrebilim Dergisi*, 4(2), 33-54.



EKLER



EK 1. TÜRKİYE’DE FAALİYET GÖSTEREN BİYOGAZ TESİSLERİ

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MW)
1	Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	34.00
2	Toros Tarım Atık Isı Santrali	Samsun	Toros Tarım	31.00
3	Mutlular Biyokütle Enerji Santrali (Orman Atığı)	Balıkesir	Mutlular Enerji	30.00
4	Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	25.00 36.00
5	Çadırtepe Biyogaz Santrali	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	23.00
6	Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	ITC Katı Atık Enerji	16.00
7	Akçansa Çimento Atık Isı Santrali	Çanakkale	Enerjisa Elektrik	15.00
8	ITC Biyokütle Santrali	Antalya	ITC Katı Atık Enerji	14.00
9	Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	14.00
10	Eti Alüminyum Atık Isı Elektrik Santrali	Konya	Cengiz Enerji	13.00
11	Zeus Biyokütle Enerji Santrali	Kırklareli	Zeus Enerji	12.00
12	Eti Maden Bandırma Atık Isı Santrali	Balıkesir	Eti Maden	12.00
13	ITC-KA Sincan Biyokütle Gazlaştırma Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	11.00
14	Bağfaş Gübre Fabrikası Biyogaz Santrali	Balıkesir	Bağfaş Gübre Fabrikası	9.92
15	Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	ITC Katı Atık Enerji	9.80
16	Çimsa Atık Isı Santrali	Mersin	Enerjisa Elektrik	9.56
17	Batıçim Atık Isı Santrali	İzmir	Batıçim Batı Anadolu	9.00
18	Afyon Hayvansal Atık Biyogaz Santrali	Afyonkarahisar	Afyon Biyogaz	8.40
19	Prokom Madencilik Prolitik Yağ ve Gaz Santrali	Erzincan	Prokom Madencilik	7.04
20	Prokom Pirolitik Yağ ve Pirolitik Gaz Tesisi	Erzincan	Prokom Madencilik	7.04 11.64
21	Kocaeli Çöplüğü Biyogaz Santrali	Kocaeli	Ortadoğu Enerji	6.51
22	Aksaray Organize Sanayi Bölgesi Gübre Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	Sütaş Süt Enfaş Enerji	6.40
23	Karacabey Biyogaz Tesisi	Bursa	Sütaş Süt Enfaş Enerji	6.40
24	Şanlıurfa Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	Full Force Enerji	6.24
25	Eman Enerji Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	6.02
26	Avdan Biyogaz Tesisi	Samsun	Avdan Enerji	6.00
27	Modern Biyokütle Enerji Üretim Santrali	Tekirdağ	Eren Enerji	6.00
28	Trakya Yenişehir Cam Atık Isı Santrali	Bursa	Trakya Yenişehir Cam	6.00
29	Kayseri Çöplüğü Biyogaz Elektrik Santrali	Kayseri	Her Enerji	5.78
30	Aslım Çöplüğü Elektrik Üretim Santrali	Konya	ITC Katı Atık Enerji	5.66
31	Gaziantep Çöp Gazı	Gaziantep	CEV Enerji	5.66
32	Nisa Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Bursa	Mendez Enerji	5.48
33	Batisöke Söke Çimento Atık Isı Elektrik Santrali	Aydın	Batisöke Söke Çimento	5.34
34	Mecitözü Biyokütle Enerji Santrali	Çorum	Oltan ve Kölenoğlu Elektrik	5.00
35	Ovacık Biyogaz Enerji Santrali	Kırklareli	Işık Biyokütle	4.80
36	Maraş Biyokütle Santrali	Kahramanmaraş	Öztürk Enerji	4.80
37	Kumrular Biyogaz Tesisi	Kırklareli	Seleda Biyogaz Enerji	4.27
38	Tire Biyogaz Tesisi	İzmir	Sütaş Süt Enfaş Enerji	4.27
39	Pir Enerji Düzce Biyogaz Santrali	Düzce	Pir Enerji	4.26 6.39
40	İskenderun Çöp Gazı Elektrik Üretim Tesisi	Hatay	Novtek Enerji	4.24

EK 1. (Devamı) Türkiye’de faaliyet gösteren biyogaz tesisleri

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MW)
41	Trabzon-Rize Çöp Gazı Santrali	Trabzon	Mustafa Modoğlu Holding	4.24
42	Gökçeğöz Çöp Santrali	Hatay	Atya Elektrik	4.24
43	Hasdal	İstanbul	İstanbul Büyükşehir Belediyesi	4.02
44	Afyon Biyogaz Enerji Santrali	Afyonkarahisar	Afyon Enerji	4.02
45	Malatya Çöp Gazlaştırma ve Yakma Tesisi	Malatya	Mim Sanayi Kazanları	4.00
46	Gönen Biyogaz Tesisi	Balıkesir	Gönen Yenilenebilir Enerji	3.62
47	Manavgat Çöp Gazı Santrali	Antalya	Arel Enerji	3.60
48	Senkron Efeler Biyogaz Santrali	Aydın	Senkron Grup	3.60 4.8
49	Belka Çöp Gazı Biyogaz	Ankara	Ankara Büyükşehir Belediyesi	3.20
50	Atlas İnşaat Çöp Gazı Santrali	Osmaniye	Atlas İnşaat	3.12
51	Albe Biyogaz Santrali	Ankara	Era Grup	3.02
52	ITC-KA Elazığ Çöp Gazı Santrali	Elazığ	ITC-KA Enerji	2.83
53	Arel Isparta Çöp Gazı Santrali	Isparta	Arel Yenilenebilir Enerji	2.83
54	Sivas Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Sivas	Novtek Enerji	2.82
55	Mavi Bayrak Biyokütle Enerji Santrali	Aydın	Mavibayrak Enerji Üretim	2.50 12
56	Konya Atıksu Biyogaz Santrali	Konya	Konya Büyükşehir Belediyesi	2.44
57	Malatya BŞB Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Malatya	Malatya Büyükşehir Belediyesi	2.40
58	Arel Enerji Biyokütle Tesisi	Afyonkarahisar	Arel Enerji	2.40
59	Mas 1 Yenilenebilir Enerji Üretim Tesisi	Niğde	Not available	2.40
60	Mauri Maya Bandırma Biyogaz Santrali	Balıkesir	Mauri Maya	2.33
61	Tokat Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Tokat	Tokat Belediyesi	2.30
62	Dilovası Çöp Biyogaz Santrali	Kocaeli	Körfez Enerji	2.13
63	Bandırma Edincik Biyogaz Santrali	Balıkesir	Telko Enerji	2.13
64	Eses Enerji Biyogaz Santrali	Eskişehir	Eskişehir Büyükşehir Belediyesi	2.04
65	Karaduvar Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	1.90
66	Pakmil Biyokütle Santrali	Adana	Pakmil Enerji	1.76
67	GASKİ Atıksu Biyogaz Elektrik Santrali	Gaziantep	Gaziantep Büyükşehir Belediyesi	1.66
68	Karma Gıda Biyogaz Santrali	Sakarya	Karma Gıda	1.49
69	Polatlı Biyogaz Tesisi	Ankara	Polres Elektrik Üretim	1.47
70	ITC-Ka Samsun Çarşamba Çöp Gazı Santrali	Samsun	ITC-Ka Enerji	1.42
71	Aksaray Çöp Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	ITC Katı Atık Enerji	1.42
72	Karaman Biyogaz Tesisi	Karaman	Karaman Yenilenebilir Enerji	1.41
73	Sandıklı Biyokütle Elektrik Üretim Tesisi	Afyonkarahisar	Akıncı Elektrik	1.40
74	Pamukova Katı Atık Biyogaz Santrali	Sakarya	Biosun Pamukova	1.40
75	Eman Enerji Silifke Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	1.20
76	Uşak Çöp Gazı Enerji Santrali	Uşak	Uşak Belediyesi	1.20

EK 1. (Devamı) Türkiye’de faaliyet gösteren biyogaz tesisleri

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç (MW)
77	Vesmec Çöp gazı Santrali	Kırklareli	Vesmec Makine	1.20
78	Kipaş Kağıt Biyokütle Enerji Santrali	Kahramanmaraş	Kipaş Kağıt	1.20
79	Amasya Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Amasya	Boğazköy Enerji Elektrik Üretim	1.20 2.40
80	Ekim Grup Gübre Gazı	Konya	Ekim Grup Elektrik	1.20
81	Malatya 1 Çöp Gaz Elektrik Üretim Tesisi	Malatya	Not available	1.20 2.4
82	Tire Biyogaz Elektrik Santrali	İzmir	Tire Biyogaz Elektrik Üretim	1.20 4.8
83	Bolu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bolu	CEV Enerji	1.13
84	Yapılcanlar Biyogaz Enerji Santrali	Aksaray	Yapılcanlar Tohumculuk	1.07
85	Kırıkkale Çöp Gazı Enerji Santrali	Kırıkkale	Mustafa Modoğlu Holding	1.00
86	Kartepe Biyokütle Enerji Santrali	Kocaeli	Kartepe Endüstriyel	1.00
87	Sigma Sıvıova Biyogaz Santrali	Amasya	Sigma Elektrik Üretim	1.00 2.00
88	Kemerburgaz Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ekolojik Enerji	0.98 5.82
89	Hayat Biyokütle Elektrik Üretim Santrali	Kocaeli	Hayat Enerji	0.96
90	Eman Enerji Karaman Biyokütle Enerji Santrali	Kahramanmaraş	Eman Enerji	0.95
91	Doğal enerji Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	Doğal Enerji Hizmetleri	0.82 5.2
92	Adana Batı Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0.80
93	Adana Doğu Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0.80
94	Beypazarı Biyogaz Tesisi	Ankara	Derin Enerji Üretim	0.79 2.37
95	Frito Lay Gıda Kojenerasyon Santrali	Mersin	Not available	0.66
96	Kumkısıç Çöplüğü Biyogaz Santrali	Denizli	Bereket Enerji	0.64
97	Sezer Biyoenerji	Antalya	Kalemirler Enerji	0.50
98	Denizli Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Elektrik Üretim Santrali	Denizli	Denizli Büyükşehir Belediyesi	0.48
99	Solaklar İzaydaş Çöp Gazı	Kocaeli	Kocaeli Büyükşehir Belediyesi	0.33
100	Cargill Tarım Biyoenerji Santrali	Bursa	Cargill Tarım	0.12

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ TEZ DEĞERLENDİRME FORMU		
Öğrencinin Adı Soyadı: Hatice ET YAPILCAN		EYET
Kapak		X
1	Tez Başlığı tutanaktaki başlıkla aynı mı?	X
2	Kapaktaki ay ve yıl savunmaya girilen tarihle tutarlı mı?	X
3	Kapak format kılavuzdaki kapak formatına uygun mu?	X
4	Kapakta yazılan tüm yazılar doğru olarak verilmiş mi?	X
İçindekiler		
5	Sayfa numaraları tam verilmiş mi?	X
6	Şekil, Çizelge vb. listeleri verilmiş mi? Sıralaması doğru mu?	X
7	Özet, Abstract, Giriş, Sonuçlar vb. bölümler var mı?	X
8	Yazım hataları kontrolü yapıldı mı?	X
Giriş		
9	Hazırlanan tezin önemini anlatıyor mu?	X
10	İkinci ve Üçüncü dereceden başlık içermemeli kuralına uyuldu mu?	X
Özet/Abstract		
11	Kılavuza uygun mu?	X
12	Ay ve yıl savunmaya girilen tarihle tutarlı mı?	X
13	Özet; tek sayfa, tek aralık, tek paragraf kuralına uygun olarak yazıldı mı?	X
14	Bilim kodu, sayfa adedi, anahtar kelimeler ve tez danışmanı yazıldı mı?	X
Kaynakça		
15	Kaynakların tamamına metin içinde atıf yapıldı mı?	X
16	Kaynak formatı Kılavuzdaki kaynak formatına uygun olarak hazırlanmış mı?	X
17	Atıf formatı kılavuzdaki atıf formatına uygun mu?	X
Atıf Yöntemi APA 6 ☒ CMS ☐ İSNAD ☐		
Genel Değerlendirme		
18	Etik Beyan açıklaması okundu, uyuldu ve imzalandı mı?	X
19	Kabul/Onay sayfası kılavuzdaki formata uygun olarak düzenlenmiş mi?	X
20	Kabul /Onay sayfasında belirtilen oy birliği/oy çokluğu seçeneklerinden uygun olanı savunmayla tutarlı olacak şekilde belirlenmiş mi?	X
21	Sayfa kenar boşluklar ve sayfa numaraları kılavuzdaki formatına uygun mu?	X
22	Paragraf boşlukları ve metin satır aralığı kılavuza uygun olacak şekilde düzenlenmiş mi?	X
23	Başlık yazımları kılavuzdaki başlık formatlarına uygun mu?	X
24	Yazı tipi ve boyutu kılavuzdaki yazı tipi ve boyutu formatına uygun mu?	X
25	Şekil, Çizelge vb. açıklama ve numaralandırmaları kılavuzdaki formata uygun olarak yazılmış mı?	X

Bu tezin tarafımdan “Tez yazım kuralları” okunarak dikkatlice hazırlanmış olduğunu ve doğabilecek her türlü olumsuzluktan sorumlu olacağımı kabul ederim.

Öğrencinin imzası