



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

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AKSARAY İLİNİN TARIMSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beyza ÜSTÜNSOY

DANIŞMAN

Prof. Dr. Mustafa IŞIK

AKSARAY, 2024

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 222301719 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Beyza ÜSTÜNSOY tarafından hazırlanan “AKSARAY İLİNİN TARIMSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mustafa IŞIK

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK

Erciyes Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Üye: Doç. Dr. Şevket TULUN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 07/11/2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Fazlıye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Beyza ÜSTÜNSOY



TEŞEKKÜR

Öncelikle, tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa IŞIK'a, engin bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendirdiği, bana gösterdiği sonsuz sabırla her aşamada bana rehberlik ettiği ve beni motive ettiği için en içten şükranlarımı sunarım.

Bu tezin hazırlanması sürecinde, bana her zaman destek olan babama en derin teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Eğitimim ve kişisel gelişimim için gösterdiğin destek; benim en kıymetli hazinemdir. Bu tez, sadece benim değil, aynı zamanda senin de katkılarınla şekillenmiştir. Senin gibi bir babaya sahip olduğum için çok şanslıyım.

Canım annem her zaman yanımda olduğun için ve daima bana destek verdiğin için; sana en derin teşekkürlerimi sunuyorum. Senin desteğin ve inancın olmadan bu süreci tamamlayamazdım.

Sevgili eşim, ne zaman bir zorlukla karşı karşıya kalsam, senin varlığın bana güç verdi. Senin bana olan inancın ve destekleyici yaklaşımın kendime inanmamı sağladı. Bu süreçteki her başarımda senin payın çok büyük. Sadece akademik çalışmalarımda değil, hayatımın her alanında yanımda olduğun için sana en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hazırlanması sürecinde, hayatıma kattıkları değer ve ilham için en özel teşekkürlerimi kızlarıma sunmak istiyorum. İlay Aden ve Ayda Karen; hayatın her alanında beni sürekli olarak daha iyi bir versiyonum olmaya teşvik eden, sizin masumiyetiniz ve merakınızdır. Bu tezi tamamlamamda gülüşleriniz ve neşeniz her zaman olduğu gibi en büyük destekçim oldu. Gelecekte, bu tezin sizin için bir ilham kaynağı olmasını diliyorum.

Beyza ÜSTÜNSOY
AKSARAY, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİSİ	2
2.1 Dünyada Enerji Üretimi	2
2.2 Türkiye’de Enerji Üretim Politikaları	3
2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	7
2.4 Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı: Biyogaz	9
2.4.1 Biyogazın tarihçesi	10
2.4.2 Biyogazın tanımı ve özellikleri	11
2.4.3 Biyogazın kullanım alanı	12
2.4.4 Biyogaz üretiminde kullanılan atıklar	15
2.4.5 Biyogaz oluşum evreleri	15
2.4.6 Biyogaz üretiminde kullanılan teknikler	16
2.5 Biyogaz Üzerine Yapılan Çalışmalar	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1 Çalışma Alanı	19
3.2 Aksaray İli Tanıtımı	19
3.2.1 Tarihsel gelişim	19
3.2.2 Aksaray ili coğrafyası	21
3.2.3 Arazinin jeolojik yapısı	23
3.2.4 Bitki örtüsü	23
3.2.5 İklim	23
3.2.6 Aksaray ili ilçeleri	24
3.2.7 Aksaray İli doğal güzellikleri	27
3.2.8 Aksaray ili tarım ve hayvancılık	28
3.3 Hesaplamalarda Kullanılan Yöntemler	35
3.3.1 Tarımsal atık kaynaklarının hesaplanması	35
3.3.2 Biyometan üretim miktarlarının hesaplanması	39
3.3.3 Potansiyel enerji hesabı	40
3.3.4 Biyogaz kullanımının sera gazı azaltım potansiyeli	41
3.3.5 Biyogaz tesisi kurulum ve işletme maliyetleri	43
3.3.6 Biyogaz tesislerinden elde edilen gelirler	46
3.3.7 Biyogaz tesisi büyüklüğü	46
3.3.8 Biyogaz tesisi yatırımının ekonomik fizibilitesi	47
3.3.9 Yenilenebilir enerji destekleri	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
4.1 Aksaray ve İlçelerin Tarımsal Atık Potansiyeli	51
4.2 İlçelerin Potansiyel Atık, Metan ve Enerji Miktarları	53
4.2.1 Merkez ilçe	53
4.2.2 Ağaçören	54
4.2.3 Eskiil	55
4.2.4 Gülağaç	56

4.2.5 Güzelyurt	57
4.2.6 Ortaköy	58
4.2.7 Sarıyahşi	59
4.2.8 Sultanhanı	60
4.3 Aksaray İlinin Genel Potansiyelinin Değerlendirilmesi	61
4.4 Yapılması Planlanan Biyogaz Tesislerinin Ekonomik Değerlendirilmesi	66
4.4.1 Bugünkü değer ve net bugünkü değerler	66
4.4.2 İç getiri oranı.....	70
4.4.3 Fayda/maliyet oranı.....	70
4.4.4 Geri ödeme süresi	70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	74
EKLER	81
Ek A. Çizelgeler.....	81
ÖZGEÇMİŞ	88



YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKSARAY İLİNİN TARIMSAL ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Beyza ÜSTÜNSOY

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa IŞIK

ÖZET

Bu çalışma, Aksaray ili ve ilçelerinde hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelini incelemektedir. Türkiye'de giderek artan enerji talebi ve çevresel sürdürülebilirlik ihtiyacı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Biyogaz, organik atıkların anaerobik fermantasyon yoluyla enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilen çevre dostu bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, Aksaray ilinin en güncel verileri kullanılarak hayvansal ve bitkisel atıklardan elde edilebilecek biyogaz miktarı hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda, Aksaray ili ve ilçelerinde hayvansal yaş atık miktarının toplamda yaklaşık 2 milyon ton olduğu ve bu atıklardan yıllık yaklaşık 82 milyon m³/yıl metan üretilebileceği belirlenmiştir. Bitkisel atıklardan kaynaklı biyogaz potansiyeli ise 1 milyon ton atıktan 155 milyon m³ CH₄/yıl olarak hesaplanmıştır. İl genelindeki toplam atık miktarı kabaca 3 milyon ton olup, bunun sonucu olarak elde edilen biyogaz potansiyeli 237 milyon m³ CH₄/yıl seviyesindedir. Bu biyogaz, elektrik üretiminde kullanıldığında 541 milyon kWh/yıl elektrik üretim potansiyeline ve 676 milyon kWh/yıl ısı enerjisi potansiyeline sahiptir. İl genelinde biyogaz tesislerinin kurulması halinde 67,4 MW kurulu güç kapasitesi elde edilebilecektir. Ayrıca, biyogaz kullanımıyla 541 bin ton CO₂/yıl sera gazı salınımı azaltılabilecektir. Sonuç olarak, bu çalışma, Aksaray ilinde biyogazın enerji üretimi ve çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Hayvansal ve bitkisel atıkların enerjiye dönüştürülmesi hem yerel ekonomiye katkı sağlayacak hem de fosil yakıt kullanımını azaltarak sera gazı emisyonlarını düşürecektir. Biyogaz tesisleri, tüm dünyada yaygınlaşmakta olan, geleceğin döngüsel ekonomi modelinin merkezini oluşturmaktadır. Bu nedenle Aksaray İl'inde yapılacak uygulamaları teşvik etmesi ve çalışmalara referans olması amacıyla; kurulabilecek biyogaz potansiyelinin incelenmesi, tesis yatırım maliyetleri, tesislerin kurulabileceği yerler konu başlıkları incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aksaray, Yenilenebilir Enerji, Hayvansal Atık, Bitkisel Atık, Biyogaz, Biyogaz Potansiyeli.

Kasım, 2024; 88 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF BIOGAS POTENTIAL FROM AGRICULTURAL WASTE RESOURCES IN AKSARAY PROVINCE

Beyza ÜSTÜNSOY

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa IŞIK

ABSTRACT

This study examines the biogas potential that could be obtained from animal and plant waste in the province of Aksaray and its districts. The increasing energy demand and need for environmental sustainability in Turkey have made the use of renewable energy sources essential. Biogas stands out as an environmentally friendly renewable energy source produced by converting organic waste into energy through anaerobic fermentation. In this study, the latest data for Aksaray province was used to calculate the amount of biogas that can be obtained from animal and plant waste. The results reveal that the total amount of animal wet waste in Aksaray province and its districts is approximately 2 million tons, from which about 82 million m³/year of methane could be produced annually. The biogas potential from plant waste was calculated as 155 million m³ CH₄/year from 1 million tons of waste. The total waste amount in the province is roughly 3 million tons, resulting in an overall biogas potential of 237 million m³ CH₄/year. When used for electricity generation, this biogas has the potential to produce 541 million kWh/year of electricity and 676 million kWh/year of thermal energy. If biogas facilities are established across the province, an installed power capacity of 67.4 MW can be achieved. Additionally, biogas usage could reduce greenhouse gas emissions by 541 thousand tons of CO₂ annually. In conclusion, this study demonstrates that biogas in Aksaray province holds significant potential for energy production and environmental sustainability. The conversion of animal and plant waste into energy will contribute to the local economy while reducing greenhouse gas emissions by decreasing fossil fuel use. Biogas facilities form the core of the circular economy model, which is gaining worldwide popularity. Therefore, to encourage local applications and serve as a reference for further studies in Aksaray, this study also explores topics such as the biogas potential, investment costs of the facilities, and possible locations for facility installations.

Keywords: Aksaray, Renewable Energy, Animal Waste, Plant Waste, Biogas, Biogas Potential.

November, 2024; 88 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Dünya 2018 yılı birincil enerji arzında kaynakların payı.	2
Şekil 2.2. Türkiye birincil enerji üretiminde kaynaklarının payı.	4
Şekil 2.3. 2014-2021 arası Türkiye birincil enerji arzı.	5
Şekil 2.4. Türkiye'nin yıllara göre birincil enerji tüketim trendi.	6
Şekil 2.5. Türkiye 2022 yılı birincil enerji tüketim Exajoule miktarları ve % dağılımları.	7
Şekil 2.6. Biyokütle enerjisi üretim trendi.	8
Şekil 2.7. Dünyanın enerji tüketim kaynakları (a) 2020 ve (b) 2040.	9
Şekil 2.8. Biyogazın kullanım alanları.	13
Şekil 2.9. Biyogaz oluşum aşamaları.	17
Şekil 3.1. Aksaray ilinin coğrafi konumu.	21
Şekil 3.2. Aksaray ili ilçeleri.	24
Şekil 3.3. Son 6 yıl içerisinde Aksaray'da yetiştirilen büyükbaş hayvan sayısının yıllara göre dağılımı.	33
Şekil 4.1. 2024 yılı yaş tarımsal atık miktarları.	52
Şekil 4.2. Aksaray ili hayvan miktarları.	62
Şekil 4.3. İlçelerin elektrik üretecek güç potansiyeli.	63
Şekil 4.4. Planlanan tesislerin yeri.	64
Şekil 4.5. Yıllara göre net bugünkü değerler ve bugünkü değerler.	68

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Biyogaz ve doğal gaz bileşimi.	12
Çizelge 3.1. Aksaray ili tarım arazileri yüzölçümleri.	29
Çizelge 3.2. Aksaray ili hayvan sayıları.	32
Çizelge 3.3. Aksaray ili küçükbaş hayvan sayısı.	34
Çizelge 3.4. Aksaray ili kanatlı hayvan sayısı.	34
Çizelge 3.5. Bitkisel atıkların metan üretim potansiyeli hesabında kullanılan katsayılar.	38
Çizelge 3.6. Hesaplamalarda kullanılan hayvan gübresi özellikleri.	38
Çizelge 4.1. Merkez ilçe atık, metan, enerji ve elektrik potansiyelleri.	53
Çizelge 4.2. Ağaçören ilçesi.	54
Çizelge 4.3. Eski il ilçesi.	55
Çizelge 4.4. Gülağaç ilçesi.	57
Çizelge 4.5. Güzelyurt ilçesi.	58
Çizelge 4.6. Ortaköy ilçesi.	59
Çizelge 4.7. Sarıyahşi ilçesi hesaplamalar.	60
Çizelge 4.8. Sultanhanı ilçesi için yapılan hesaplamalar.	61
Çizelge 4.9. Biyogaz tesisleri kurulum, yıllık işletme ve gelir tutarları.	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

AD	Anaerobik Sindirim
C	Karbon
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CH₄	Metan
CO₂	Karbondioksit
CHP	Kombine ısı ve güç
CNG	Sıkıştırılmış doğalgaz
H₂	Hidrojen
H₂S	Hidrojen Sülfür
ETKB	T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
GHG	Sera Gazı
KM	Katı Madde
M.T.A	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
QGIS	Quantum Geographic Information System
UKM	Uçucu Katı Madde
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynağı
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
kg	Kilogram
km²	Kilometrekare
kWh	Kilovatsaat
MJ	Megajul
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MW	Megavat
MWh	Megavatsaat
MWm	Megavat Mekanik Güç
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
PJ	Petajul (10 ¹⁵ Jul)

1. GİRİŞ

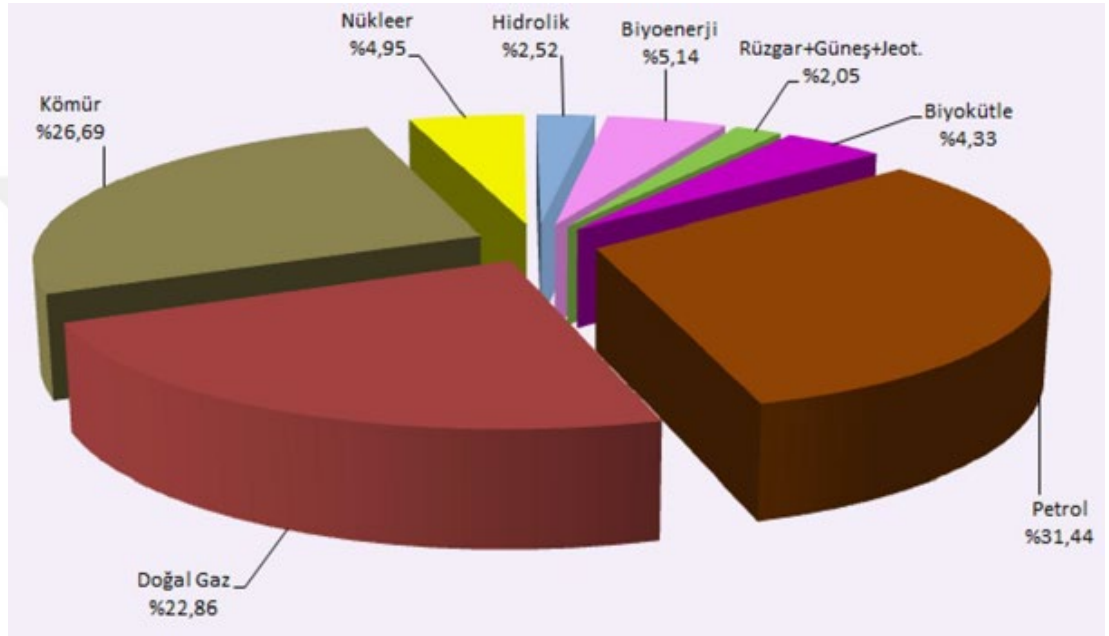
Dünya nüfusu ve endüstriyel faaliyetler arttıkça enerji kaynaklarına olan talep de artmaktadır. Dünyada ve ülkemizde enerji talebinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. İnsanlığın enerji ihtiyacının gün geçtikçe daha da artacağı şüphesizdir. ABD Enerji Bilgi İdaresi'ne göre (EIA, 2016), küresel enerji tüketimi 2012 ile 2040 yılları arasında % 48 oranında artacaktır. Son zamanlarda fosil yakıtlar enerji arzında hakim ham petrol % 33, kömür % 27 ve doğal gaz % 24'lük paya sahiptir (URL-1). Fosil enerji kaynaklarının tükeniyor olması, kirlilik ve iklim değişikliğine neden olan sera gazı salınımı nedeniyle birçok ülke fosil yakıtların yerine alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarını geliştirmeye yönelmiştir. Artan enerji ihtiyaçları da ülkeleri fosil yakıtların alternatifi yeni enerji kaynakları bulma yoluna sevk etmiştir (Liu vd., 2023). Bilim insanları bu kaynaklardan en önemlilerinden bir tanesi olarak biyokütle enerjisini görmektedir. Biyokütle enerjisi karbon nötr bir kaynaktır ve karbon nötrlüğüne ulaşmaya katkıda bulunmada önemli bir rol oynar. Son zamanlarda, birçok ülke için net sıfır emisyon yarış değerleri yayınlanmıştır (URL-2). Bu yarışmaya 198 ülke, 713 bölge, 1177 şehir ve 2000 işletme katılmaktadır. Birçok ülke karbon nötrlüğüne ulaşmak için hedef yılını belirlemiştir; çoğu yıl olarak 2050 veya 2060 yılını seçerken Türkiye'de 2053 yılını hedef seçmiştir. Ancak enerji üretiminde fosil yakıtlara sürekli bağımlılık ve ihtiyacın sürekli artması göz önüne alındığında, hükümetlerin ve kuruluşların hedeflere ulaşması zorlaşmaktadır (Slorach vd., 2019).

Ülkemizde 2053 çevresel hedeflerine ulaşmak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmak için yenilebilir enerji kaynakları başta olmak üzere enerji üretim faaliyetlerini artırma gayreti içerisinde. Bu tez çalışmasında, bahsedilen hedeflere ulaşmada önemli bir kaynak olacağı düşünülen biyogaz enerji potansiyelinin Aksaray ili kapsamında belirlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Tez çalışması kapsamında tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olarak yapıldığı Aksaray ilinin ilçe bazında bitkisel üretimden kaynaklanan bitki artıkları ve hayvancılık faaliyetlerinden açığa çıkan hayvan gübresinden elde edilebilecek biyogaz enerjisi değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR BİLGİSİ

2.1 Dünyada Enerji Üretimi

Dünyanın 2018 yılındaki toplam enerji arzı 14314 milyon ton eşdeğer petrol (TEP)'dir. Bu arzın kaynaklara dağılımında (Şekil 2.1) ilk sırayı 4501 milyon TEP ve toplam arzın %31'i ile petrol almıştır. Petrolü, 3821 milyon TEP ve % 27 pay ile kömür, 3.273 milyon TEP ve % 23 pay ile doğal gaz takip etmiştir (IEA, 2019).



Şekil 2.1. Dünya 2018 yılı birincil enerji arzında kaynakların payı.

Dünya birincil enerji arzı 2000-2018 yılları arasındaki 18 yılda %42,6 oranında artmıştır. Bu dönemde, petrolün payı % 36,5'ten % 31,4'e, nükleerin payı % 6,7'den % 5'e gerilerken, doğalgazın payı % 20,8'den % 23'e, kömürün payı % 23,1'den % 26,7'ye, hidrolik dâhil yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise % 6,6'dan % 9,7'ye yükselmiştir (IEA, 2019).

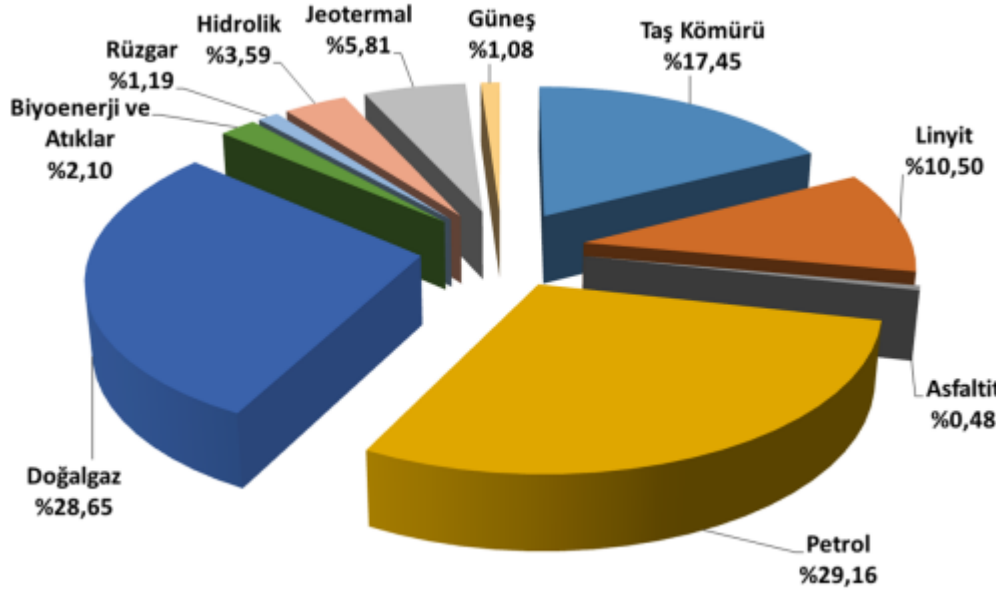
Dünya enerji görünümü 2019 raporunda belirlenen politikalar senaryosuna göre yapılan tahminlerde 2040 yılında bile enerji kaynaklarının dağılımında önemli değişikliklerin olmayacağı ve fosil yakıt oranının %74 mertebesinde olacağı, ancak kömür tüketiminde gerileme görülürken doğal gazın artacağı tahmin edilmektedir. Oysa aynı rapordaki, küresel sıcaklık artışının 2 °C'nin altında (tercihen 1,5 °C'de) tutulmasını hedefleyen Paris Anlaşması ile uyumlu “Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu’na” göre 2040 yılında fosil yakıt oranının % 58 civarında olması gerektiği

öngörülmektedir Dünya birincil enerji arzı 2000-2018 yılları arasındaki 18 yılda %42,6 oranında artmıştır. Bu dönemde, petrolün payı % 36,5'ten % 31,4'e, nükleer payı % 6,7'den % 5'e gerilerken, doğalgazın payı % 20,8'den % 23'e, kömürün payı % 23,1'den % 26,7'ye, hidrolik dâhil yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise % 6,6'dan % 9,7'ye yükselmiştir (IEA, 2019).

Dünya Enerji Görünümü 2019 Raporunda “Belirlenen Politikalar Senaryosu’na göre yapılan tahminlerde 2040 yılında bile enerji kaynaklarının dağılımında önemli değişikliklerin olmayacağı ve fosil yakıt oranının %74 mertebesinde olacağı, ancak kömür tüketiminde gerileme görülürken doğal gazın artacağı tahmin edilmektedir. Oysa aynı rapordaki, küresel sıcaklık artışının 2 °C’nin altında (tercihen 1,5 °C’de) tutulmasını hedefleyen Paris Anlaşması ile uyumlu “Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu’na göre 2040 yılında fosil yakıt oranının % 58 civarında olması gerektiği öngörülmektedir (IEA, 2019).

2.2 Türkiye’de Enerji Üretim Politikaları

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) verilerine göre (Yılmaz, 2020), Türkiye’nin 2018 yılındaki toplam enerji arzı 143,66 milyon TEP’dir. Bu arzın kaynaklara dağılımında, ilk sırayı 41,91 milyon TEP ve toplam arzın %29,16’si ile petrol almıştır. Petrolü, 41,17 milyon TEP ve %28,66 pay ile doğal gaz; 40,98 milyon TEP ve %28,56 pay ile kömür takip etmiştir. Bunları 11,60 milyon TEP ve %8,07 pay ile jeotermal, rüzgâr ve güneş; 5,16 milyon TEP ve %3,59 pay ile hidrolik; 3,01 milyon TEP ve %2,10 pay ile biyoenerji, atık ve diğer kaynaklar izlemiştir (Şekil 2.2). BP Statistical Review of World Energy 2019 raporunda ise Türkiye 2018 birincil enerji arzı 153,5 MTEP (petrol: 48,6; doğal gaz: 40,7; kömür: 42,3; hidrolik: 13,3; yenilenebilir: 8,5 MTEP) olarak verilmiştir.



Şekil 2.2. Türkiye birincil enerji üretiminde kaynaklarının payı.

2000-2018 yılları arasındaki Türkiye toplam enerji arzı, üretimi, ithalat ve ihracat değerleri incelendiğinde; üretimin toplam enerji arzı içindeki payının %33,3'ten %27,6'ya düştüğü; ithalatın toplam enerji arzı içindeki payının %69,3'den %80,6'ya, ihracatın toplam enerji arzı içindeki payının ise %2'den % 4,2'ye çıktığı görülmektedir. Başka bir deyişle enerji arzı içinde; 18 yılda ihracatın payı ancak % 2,2; ithalatın payı % 11,3 artmış; üretimin payı ise % 5,7 oranında azalmıştır. 2002-2018 yılları arasında toplam enerji arzı içinde; ihracatın payı ancak % 0,1, ithalatın payı % 6,4 artmış, üretimin payı ise % 4,1 oranında azalmıştır (Yılmaz, 2020).

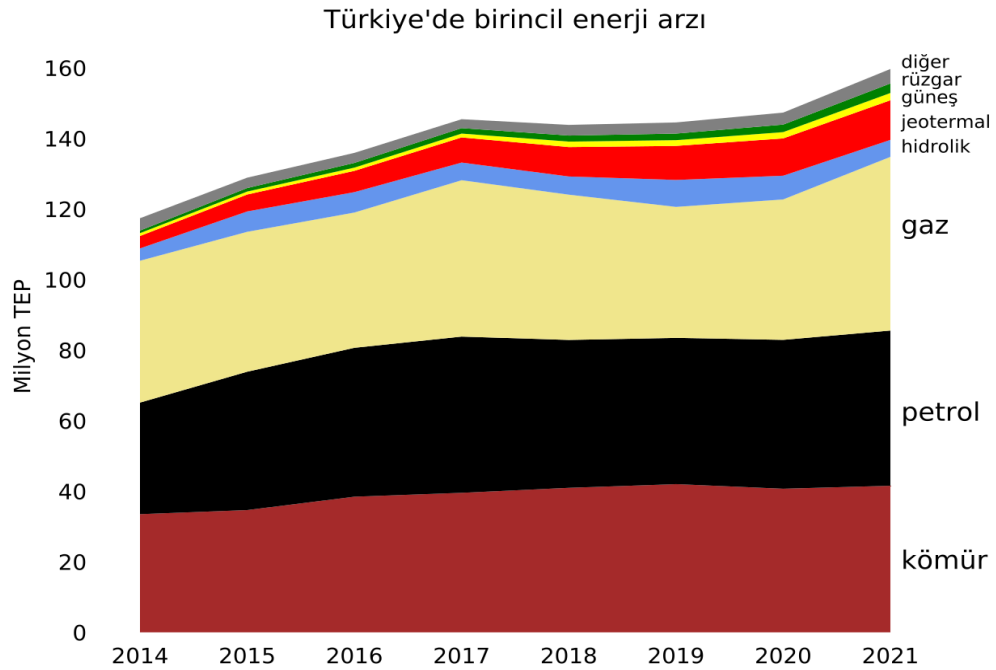
2002-2018 yılları arasında Türkiye toplam enerji arzı içinde kaynakların paylarında, petrolün payı %13, biyoenerji, odun, çöp ve atıkların payı %5,7 azalırken, kömürün payı %2,8, doğal gazın payı %9,8, jeotermal, güneş, rüzgârın payı %6,6 artmıştır. 2000-2018 yılları arasında Türkiye toplam enerji arzı içinde kaynakların paylarında ise, petrolün payı %13, biyoenerji, odun, çöp ve atıkların payı % 6, kömürün payı % 0,5 azalırken, doğal gazın payı % 13,7, jeotermal, güneş, rüzgârın payı % 6,9 artmıştır (Yılmaz, 2020).

Türkiye'de 2018 yılındaki toplam üretimin 16,5 MTEP ve %41,7'sini, %91'i linyit olan kömür üretimi oluşturmuştur. Kömürü, 11,6 MTEP ve %29 oranı ile rüzgâr, jeotermal ve güneşten oluşan yenilenebilir enerji üretimi; 5,1 MTEP ve %13 payı ile hidrolik; 3 MTEP ve %7,6 payı ile biyoenerji, odun, çöp, hayvan atıkları; 2,9 MTEP

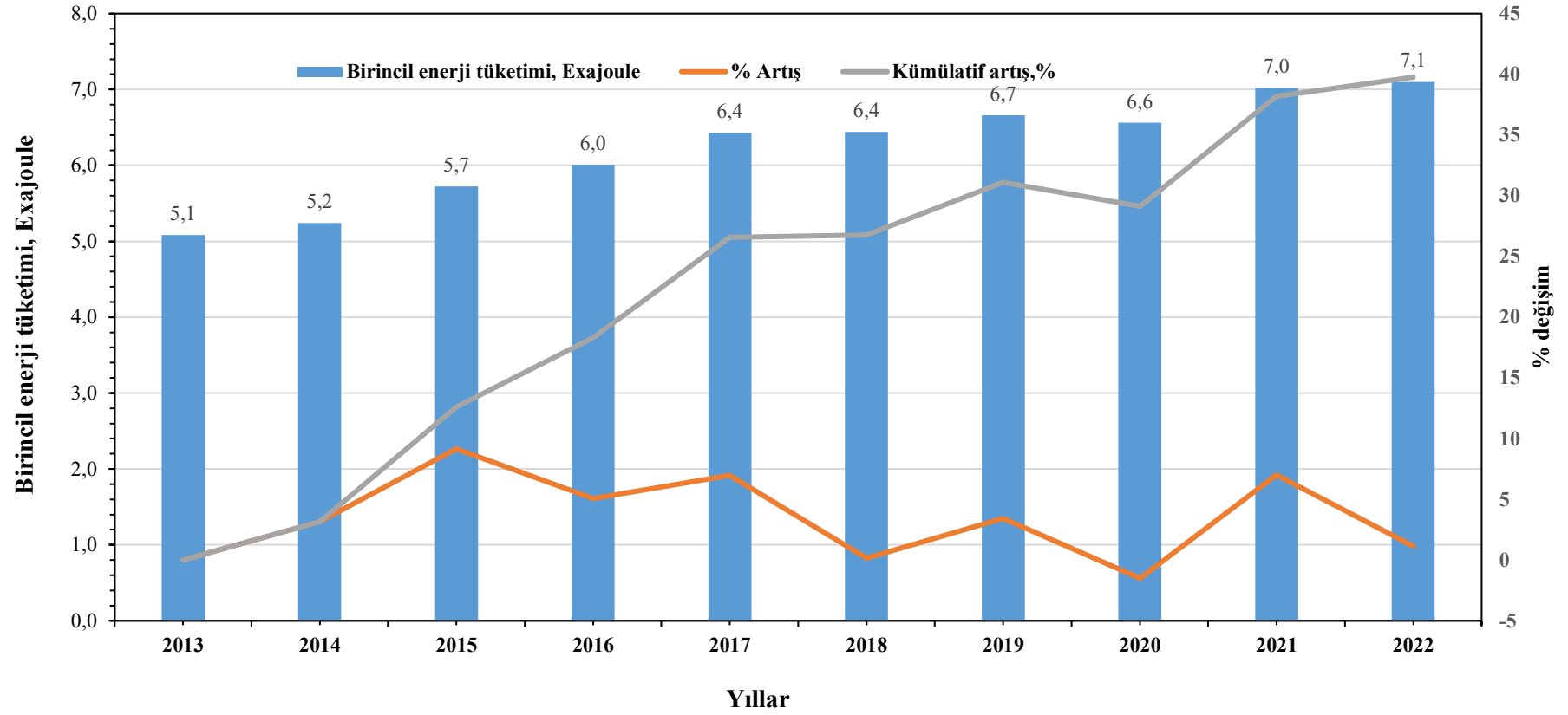
ve %7,5 payı ile petrol; 0,36 MTEP ve %0,9 payı ile doğal gaz izlemiştir (IEA, 2019). 2022 verilerine bakıldığında (URL-3) yenilenebilir enerji ve doğal gaz kullanımı daha hızlı artmıştır.

Türkiye'nin son yıllardaki birincil enerji tüketim verilerine (Şekil 2.3) bakıldığında (EI, 2024) enerji ihtiyacının gelecekte de artacağı beklenilmektedir. Son 10 yılda yaklaşık % 7 kat birincil enerji tüketimi artmıştır (Şekil 2.4). Son yıllarda çevresel endişeler nedeniyle yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarında arzı daha hızlı artışı gerçekleşmiştir. Türkiye'nin enerji politikası, yenilenebilir enerji kapasitesini artırmaya odaklanırken, aynı zamanda enerji ithalatını azaltma ve enerji verimliliğini artırma stratejilerini de içermektedir. Bu çeşitlendirme çalışmaları, fosil yakıt bağımlılığını azaltmayı ve enerji arz güvenliğini artırmayı hedeflemektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları toplam enerji kullanımı içinde % 10'lara dayanmıştır (Şekil 2.5).

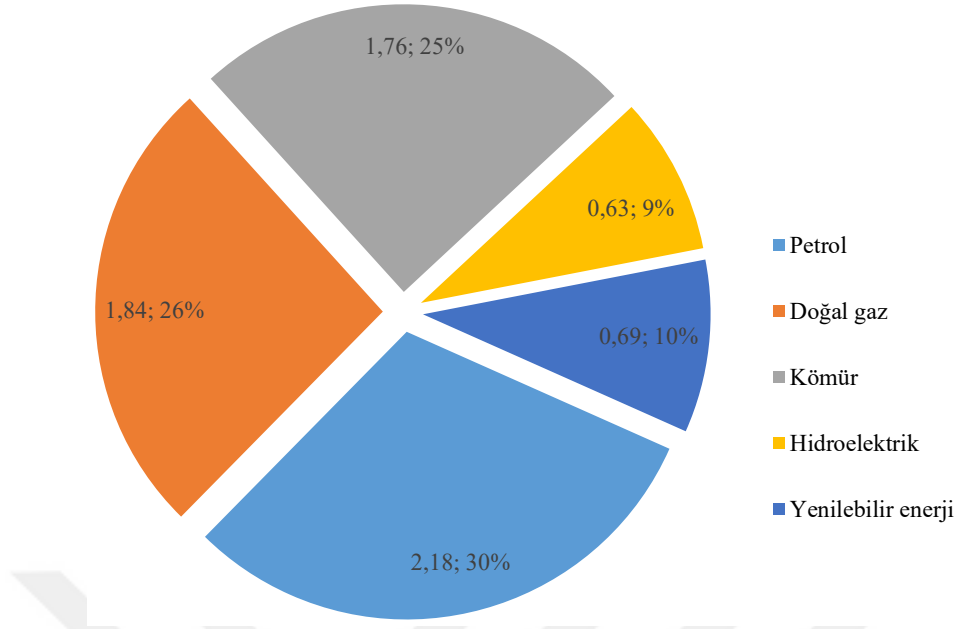
2011-2022 yılları arasında biyokütle enerjisine dayalı kurulu güç değerlerindeki artış (URL-4) Şekil 2.6' da görüldüğü gibi oldukça yüksek olmuştur.



Şekil 2.3. 2014-2021 arası Türkiye birincil enerji arzı.



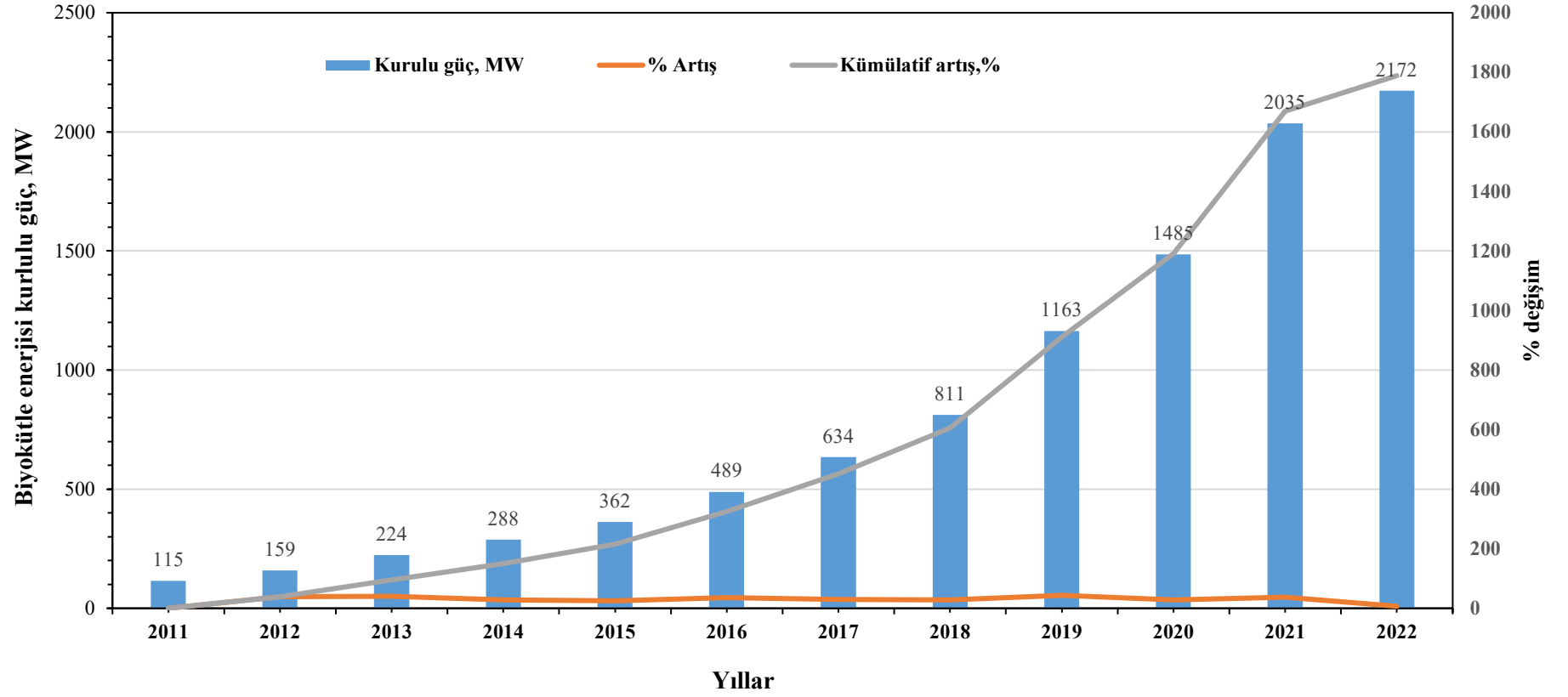
Şekil 2.4. Türkiye'nin yıllara göre birincil enerji tüketim trendi.



Şekil 2.5. Türkiye 2022 yılı birincil enerji tüketim Exajoule miktarları ve % dağılımları.

2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

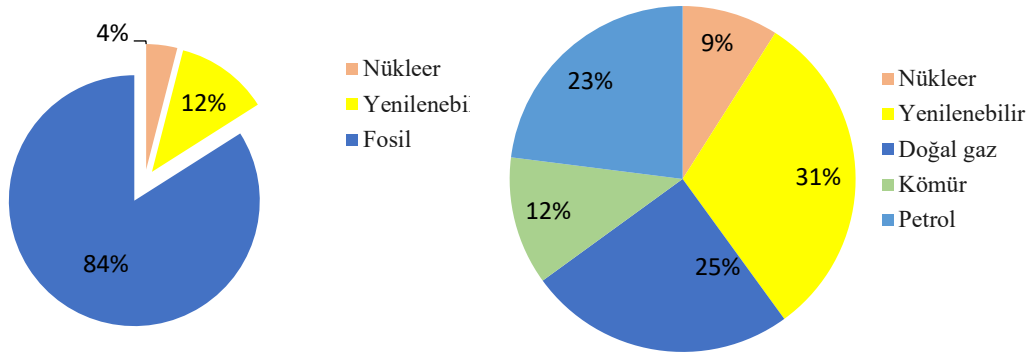
Fosil yakıtlar tarafından üretilen enerjinin yüksek bir ısıtma değeri ve enerji üretim tesislerinde iyi bir işletme kontrolü olmasına rağmen, yine de kıtlık, fiyat istikrarsızlığı ve çevresel sorunlar gibi bir dizi sorunla bağlantılıdır. Fosil yakıtların bir enerji kaynağı olarak kullanımı, kirlilik, küresel ısınma ve her türlü dünya yaşamını etkileyen sağlık sorunları da dahil olmak üzere bir dizi çevresel problemlere neden olmaktadır (Ahmad vd., 2023). Ayrıca, fosil yakıt yenilenebilir bir enerji kaynağı olmadığından tükenmesi, piyasadaki bulunabilirliği ve fiyatları etkileyerek fosil yakıtın insanlar için ulaşılabilirliğini azaltmaktadır (Martins vd., 2019). Fosil yakıtlar şu anda merkezi enerji kaynağıdır ve küresel enerji kullanımının yaklaşık %85'ini oluşturmaktadır. ABD Enerji Bilgi İdaresi, fosil yakıt kullanımının son 10 yılda yıllık %1,7 oranında arttığını tahmin etmektedir (Ahmad vd., 2023). 2017'de yayınlanan Uluslararası Enerji Görünümü'ne (International Energy Outlook) göre, 2015'ten 2040'a kadar fosil yakıt kullanımında %28'lik bir artış olacak, bu da 2050'ye kadar artık fosil yakıt kalmayacağı anlamına geliyor. Ancak, fosil yakıtlar yalnızca çevre üzerinde olumsuz sonuçlara sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda yakında tükenecektir (Nisar vd., 2022). Fosil yakıtların olumsuz etkilerinin bir sonucu olarak, insanlık giderek yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir.



Şekil 2.6. Biyokütle enerjisi üretim trendi.

Fosil yakıtların yakılması, diğer sera gazlarıyla (GHG) birlikte yılda yaklaşık 21,3 milyar ton karbondioksit (CO₂) üretir. Doğal süreçlerin bunun yalnızca bu miktarın %50'sini ortadan kaldıracı olduğu bildirilmektedir. Bu nedenle, atmosferde yılda 10,65 milyar ton CO₂'lik genel bir artış olmakta ve CO₂'nin atmosferde 400 ppm derişimlere kadar ulaşmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, yenilenebilir, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarını keşfetme ve kullanma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Tarım ürünleri, CO₂'nin biyolojik olarak tutulması yoluyla artan atmosferik CO₂ seviyesini düşürmede büyük bir öneme sahiptir. Bu sebeple biyokütle, doğrudan veya dolaylı olarak enerjiye dönüştürülebilir yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olabilir (Saleem, 2022).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacın çok haklı gerekçeleri olmasına rağmen, mevcut ve gelecekteki enerji talebinin büyüklüğü, fosil yakıtlarının üretim, dağıtım ve kullanım teknolojilerinin bilinmesi ve ekonomik olarak avantajlı olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki dezavantaj vs. nedeniyle yakın gelecekte de fosil kökenli enerji kaynakları birinci sırayı alacaktır. Bu durumun fosil yakıtların tükenmeye başlamasına kadar devam edeceği beklenilmektedir. Dünyanın 2020 ve 2040 yılları arasındaki enerji kaynakları tüketim payları (Kong vd., 2022) Şekil 2.7'de verilmektedir. Fosil yakıt kullanım oranları düşerken nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarında artış beklenmektedir.



Şekil 2.7. Dünyanın enerji tüketim kaynakları (a) 2020 ve (b) 2040.

2.4 Yenilenebilir Bir Enerji Kaynağı: Biyogaz

Dünya genelinde on dokuzuncu yüzyıldan itibaren yoğun olarak kullanılmaya başlanan fosil yakıtların, özellikle kömür ve petrolün, iklim değişikliğine yol açtığına tespit edilesi üzerine, dünya ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına (YEK)

yönelmişlerdir. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de enerji arz güvenliğini sağlamak ve enerji konusunda dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla YEK’e yönelim söz konusudur (Narin, 2023).

Biyogaz, sera gazı emisyonunun azaltılmasıyla birlikte farklı ucuz geri dönüştürülebilir organik atık akışlarından üretilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyogaz üretimi aynı zamanda organik gübre üretimi, patojen mikroorganizmaların azaltılması ve kokuların giderilmesi yoluyla çiftçilere ekonomik fayda da sağlamaktadır. Son çalışmalar, anaerobik çürütmenin, biyogaz üretimini sürdürülebilir atık yönetimiyle birleştiren etkili bir alternatif teknoloji olduğunu göstermiştir (Andlar vd., 2021).

2.4.1 Biyogazın tarihçesi

Biyogaz kullanımının tarihçesi Asurlular’a dayanmaktadır. Asurlular ve daha sonra İranlılar banyo ısıtmasında biyogazı kullanmışlardır. 17. yüzyılda Jan Baptita Van Helmont, organik maddelerin bozunumu ile gaz oluştuğunu, 1776’da Alessandra Volta organik maddelerin bozunma hızı ile yanıcı gaz miktarı arasında bir paralellik olduğunu ortaya koymuştur. İlk kez 1859 yılında Hindistan’da biyogaz üretilmiştir.

Türkiye’de biyogaz üretimi ile ilgili ilk çalışma, 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda yapılan laboratuvar çalışmalarından sonra 1962-1967 yılları arasında Eskişehir Bölge Toprak-Su Araştırma Enstitüsü’nde yapılan araştırmalardan ilk veriler elde edilmiştir. 1964 yılında Ankara Üniversitesi’nde biyogaz üretimi ile ilgili çalışmalar başlatılmış 3 yıl içerisinde toplam 728 m³ gaz üretilmiştir 1976 yılından sonra petrol krizinin etkisiyle konu tekrar gündeme gelmiş, M.T.A.’nın Hacettepe Üniversitesi Kimya Bölümü ile birlikte yaptığı laboratuvar 40 çalışmalarından elde edilen veriler ışığında, Şeker Fabrikaları Etimesgut çiftliğinde 1978 yılında 54 m³ kapasiteli pilot bir tesis kurulmuştur (Koca, 2007).

1980-1986 yılları arasında Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsünde biyogaz ile ilgili çalışmalar yürütülmüş ve birçok temel bulgular elde edilmiştir. Bu çalışmalarda sığır, koyun, tavuk gübreleri ve bunların karışımından elde edilecek biyogaz verimleri araştırılmıştır. En yüksek verim tavuk gübresinden elde edilmiştir. Başka bir çalışmada

12 m³ kapasiteli biyogaz tesisinde tavuk gübresinin biyogaz verimi incelenmiş, 9°C’de 1,4 m³/gün, 20°C’de 5,9 m³/gün biyogaz elde edilmiştir (Gülen ve Çeşmeli, 2012).

Biyogaz üretimi konusunda 1980-1986 yılları arasındaki dönemde, bir çok tesis işletmeye açılmış, inşaat hatalarından, teknik bilginin eksik olmasından dolayı bu tesislerin birçoğu işletilememiştir (Kovancı vd., 1989). Günümüzde biyogaz tesisi işletmeciliği büyük bir hızla artmıştır.

2.4.2 Biyogazın tanımı ve özellikleri

Biyogaz, organik maddelerin anaerobik (havasız) koşullar altında biyolojik bozunma sürecinde bakteriler tarafından üretilir. Biyogazın doğal olarak oluşumu, biyokimyasal karbon döngüsünün önemli bir parçasıdır. Metanojenler (metan üreten mikroorganizmalar), organik maddeleri parçalayan ve bozunma ürünlerini çevreye geri kazandıran mikroorganizmalar zincirinin son halkasıdır. Bu süreçte biyogaz üretilir ve bu, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Kossmann vd., 2000).

Bütün ölü bitki ve hayvansal maddeler mikroorganizmalara tarafından bozunmaya uğrar. Aerobik mikroorganizmalar bozunmayı oksijenli ortamda ve anaerobik mikroorganizmalar ise bozunmayı oksijensiz ortamda gerçekleştirirler. Bataklıkların dibindeki ölü bitkisel ve hayvansal maddeler anaerobik bir ayrışmaya uğrarlar ve sonunda bu bataklıkların yüzeyinde gaz kabarcıkları çıkmaya başlar. Bu kabarcıklar metan (CH₄), karbondioksit (CO₂) ve hidrojen (H₂) gazlarıdır. Anaerobik ayrıştırma asit bakterileri ve metan arkeaları başta olmak üzere değişik mikroorganizma gruplarının rol aldığı karmaşık bir biyokimyasal süreçtir (Kossmann vd., 2000). Biyogaz üretiminde atıklar tek başına kullanılabileceği gibi bunların belirli oranlardaki karışımları da kullanılabilir.

Biyogaz ağırlıklı olarak metan (CH₄, %75’e kadar) ve karbondioksit (CO₂, %50’ye kadar) içerirken, hidrojen (H₂), azot (N₂), su buharı (H₂O) (g) ve hidrojen sülfür (H₂S) daha küçük oranlarda bulunabilir. Biyogazın bileşimi ve özellikleri, kullanılan substrat türüne (işleme giren biyokütlenin kaynağına), tesis türüne ve proses koşullarına bağlı olarak değişir. Çizelge 2.1’de ham biyogaz ve doğal gazın bileşimlerini karşılaştırmaktadır. Hacimsel oranlar, literatür kaynağına bağlı olarak daha az farklılık gösterebilir (Pavičić vd., 2022).

Çizelge 2.1. Biyogaz ve doğal gaz bileşimi.

Bileşen	Formül	Hacimsel Oran (%)			
		Biyogaz		Doğal gaz	
		(Korbag vd., 2020)	(Persson vd., 2006)	(Moya vd., 2022)	(Thrän vd., 2014)
Metan	CH ₄	50–75	53–70	55–70	83–98
Karbondiyoksit	CO ₂	25–50	30–47	30–45	0–1,4
Su	H ₂ O	5–10	–	–	–
Oksijen	O ₂	<2	0	0–3	–
Azot	N ₂	<10	0,2	<15	0,6–2,7
Amonyak	NH ₃	<1	(<100 ppm)	<1 (0–100 ppm)	–
Hidrojen	H ₂	<1	0	–	–
Hidrojen sülfür	H ₂ S	<3	<1 (0–10.000 ppm)	<1 (0–10.000 ppm)	–
Etan	C ₂ H ₆	–	–	–	<11%
Propan	C ₃ H ₈	–	–	–	<3%

Listelenen maddelere ek olarak, demir, nikel, kobalt, selenyum, molibden ve tungsten izleri de bulunabilir. Biyogazın kimyasal bileşimi, kullanım özelliklerini optimize etmek için uygulanması gereken işlemi de belirler. CO₂ ve N₂'nin varlığı, gazın kalorifik değerini olumsuz etkilerken, CO₂, H₂S ve su buharı korozyona yol açarak ekipmanların hasar görmesine neden olur (Pavičić vd., 2022).

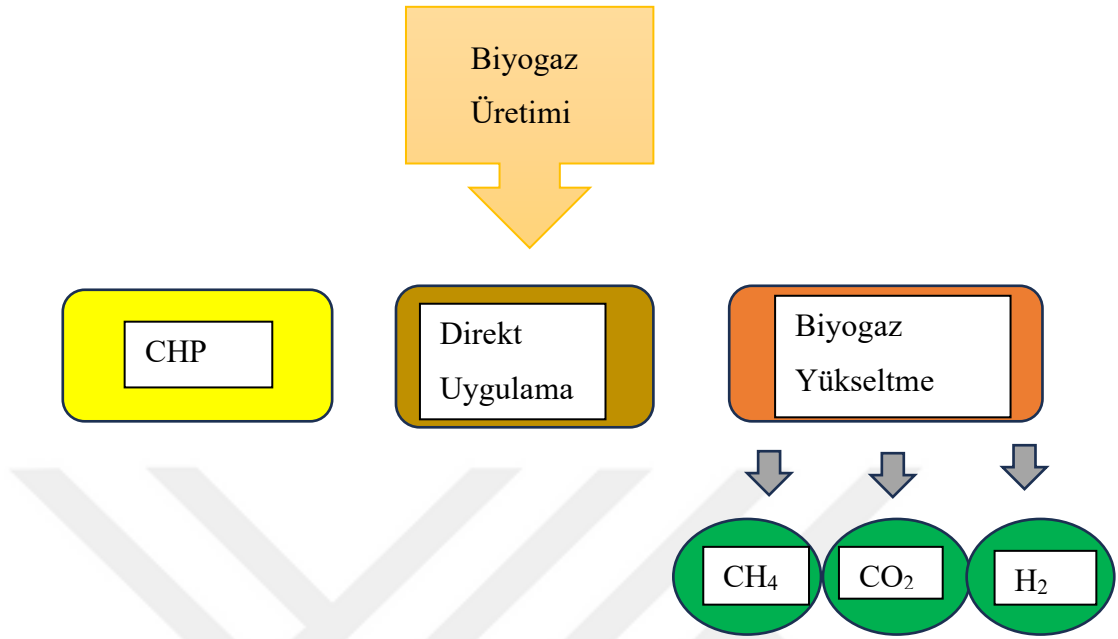
Biyogaz yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve kullanımı sera gazı emisyonlarını azaltmaya yöneliktir. Petrol veya dizel yerine araçlarda kullanımı hidrokarbon, azot oksitleri parçacıklar gibi hava kirleticisi unsurların emisyonunda önemli bir azalma sağlar. Biyogaz ısı ve elektrik üretiminde doğal gaz veya fuel oil yerine kullanımı ile hava kirleticisi emisyonlar önemli ölçüde azalacaktır (Börjesson ve Berglund, 2004).

2.4.3 Biyogazın kullanım alanı

Biyogaz, çeşitli şekillerde kullanılabilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve bu durum, teknolojinin en büyük avantajlarından biridir. Kullanım alanları genel olarak 3 başlıkta incelenebilir (Capodaglio vd., 2016).

- Biyogazın kojenerasyon (CHP) ünitesinde kullanılması;
- Biyogazın doğrudan, örneğin tarımsal işletmelerdeki makinelerde veya tesislerde kullanılması;
- Biyogazın daha yüksek değerde bir gaza yükseltilmesi.

Bu farklı kullanım yolları Şekil 2.8’de gösterilmekte ve aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.



Şekil 2.8. Biyogazın kullanım alanları.

Kojenerasyon ile elektrik ve ısı üretimi

Biyogaz için en yaygın kullanılan yol, merkezi olmayan kojenerasyon üniteleridir. Üretilen biyogaz ilk olarak kurutulur, kükürt giderilir ve daha sonra güç ve ısı sağlayan bir jeneratörü çalıştıran bir gaz motorunda kullanılır. Üretilen elektrik enerjisi genellikle dışarıda kullanılır ve bu nedenle şebekeye verilir. Üretilen ısınnın bir kısmı sindirici (biyogaz üretim ünitesi) işletiminde gerekli olur. Kalan ısı ise binaların ısıtılması veya ürünlerin kurutulması gibi harici amaçlarla kullanılabilir. Elektrik verimliliği genellikle %30 ile %40 arasında, buna karşılık gelen termal verimlilik ise %35 ile %55 arasındadır (Lantz, 2012). Bir CHP ünitesinin yerinde kullanımı, üretilen enerjinin anaerobik sindirim sürecinin dahili enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılabilmesi açısından avantaj sağlar. Diğer kullanım yollarında sindirici ve yardımcı bileşenlerin güç ihtiyacı, elektrik şebekesinden karşılanmak zorundadır. Öte yandan, ısı, bir gaz kazanı tarafından üretilir (Goulding ve Power, 2013).

Doğrudan kullanma

Biyogazın traktörlerde veya tarım makinelerinde doğrudan kullanılması ise başka bir kullanım alanıdır. Günümüzde biyogaz, yükseltilmeden mobil içten yanmalı motorlar

için yaygın olarak kullanılmaktadır (Owczuk vd., 2019). Biyogazın sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) yakıtının minimum spesifikasyonlarını karşılaması nedeniyle, CNG ile çalışan araçlarda kullanılamaz, çünkü biyogazın karbon dioksit (CO₂), su buharı ve hidrojen kükürt içeriği oldukça yüksektir. Biyometan veya doğal gazların karşı etkileri, biyogazın enerji içeriği birim kütle başına önemli ölçüde daha düşüktür. Bu nedenle, biyogaz ancak yüksek basınç altında depolanabilir ve bu durum artışı, depolama ve taşıma maliyetlerinin artmasına yol açar. Öte yandan, hidrojen kükürt ve sudan ayrıştırılmış biyogaz, biyometandan daha ucuz bir yakıttır (Kruczyński vd., 2013). Saf biyogazın yakıt olarak kullanımında ciddi zorluklar görülür. Bu nedenle düşük biyogaz üretimi veya yüksek tüketim dönemleri, depolama yoluyla dengelenmelidir (Redwanz ve Walter, 1984). Biyogazın çift yakıtlı bir motorda dizel kullanımıyla birlikte kullanımı araştırılmıştır. Bu incelemede farklı egzoz gazlarının konsantrasyonu, biyogaz tesisi aracılığıyla enerji (güç, ısı ve yakıt ve ayrıca gübre) açısından tamamen kendi kendine yeterli olmayan bir çiftlikte bildirilen farklı yakıt karışım oranlarının etkisi gibi farklı parametrelere odaklanılmıştır. 2010'ların başında biyogazı yakıt olarak kullanan traktörler piyasaya sürülmüştür. Bir üreticiye göre, biyogaz ve biyodizelin birlikte kullanılması yakıt maliyetlerinde %40'a varan tasarruf sağlamaktadır (Kruczyński vd., 2013).

Biyogaz zenginleştirme (Biyometanasyon)

Üçüncü yol ise biyogazın daha yüksek değerli bir gaza dönüştürülmesidir. Yükseltme işleme esas olarak biyogazdan çeşitli safsızlıkların ayrılmasını içerir. Yani biyogazın yükseltilmesi, biyogazın az miktardaki düşük enerji içeriğine sahip olanların (karbondioksit, su buharı, hidrojen sülfür gibi) giderilmesi yoluyla biyometan elde edilme sürecidir. Biyometan, doğal gaz kalitesinde bir gaz olup, çeşitli enerji uygulamaları mevcuttur. Yükseltilmiş biyogaz (biyometan), fosil yakıtlar yerine bir enerji kaynağı olarak bir çıkar ve sürdürülebilir enerji kullanımı katkısı sağlar. Bu işlemin en önemli kısmı, biyogazın metan içeriğini arttırmak amacıyla CO₂'nin ayrıştırılmasıdır. Yükseltme işlemi daha yüksek enerji tüketimi ve daha fazla malzeme tüketimi gerektirdiğinden daha yüksek maliyetlere yol açar (Schmid vd., 2019). Yükseltme işlemi, gazın mevcut gaz şebekesine enjeksiyonuna imkan sağlar. Bu olay üretiminden bağımsız olarak mekansal ve zamansal olarak kullanılabilme avantajı sağlar. Bu, talep odaklı enerji üretiminin bir sonucu olarak kullanımın daha verimli hale getirilmesine ve dolayısıyla sürdürülebilirliğin artmasına yardımcı olabilir

(Budzianowski ve Budzianowska, 2015). Biyogazın biyometana yükseltilmesi, artan biyogaz hacmiyle birlikte yatırım maliyetlerindeki azalma nedeniyle daha ekonomik hale gelir; bu nedenle, bu yol özellikle büyük biyogaz tesisleri için ilgi çekicidir.

2.4.4 Biyogaz üretiminde kullanılan atıklar

Biyogaz, organik maddelerin anaerobik sindirimi yoluyla elde edilen önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu süreçte mikroorganizmalar, oksijensiz ortamda kompleks organik maddeleri daha basit bileşenlere ayrıştırır ve bu da temel olarak CH₄ ve CO₂ içeren biyogazın üretilmesine yol açar. Anaerobik çürütme süreci, çeşitli organik atık materyallerini kullanarak sürdürülebilir bir şekilde biyogaz üretimine olanak tanır. Bu atıklar şunları içerir:

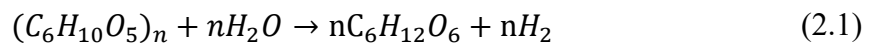
- **Kentsel organik katı atıklar:** Gıda artıkları ve biyolojik olarak parçalanabilir maddeler gibi organik bileşenler.
- **Endüstriyel atıklar:** Gıda işleme gibi sanayilerden gelen organik yan ürünler.
- **Atıksu arıtma çamurları:** Atıksu tesislerinden gelen çamur ve organik maddeler.
- **Tarım atıkları:** Çim, yaprak, saman, kuru ot ve meyve-sebze atıkları gibi tarımsal artıklar.
- **Hayvansal atıklar:** Kümes hayvanı çiftliklerinden gübre, büyükbaş hayvanların ahır yıkama suları ve domuz atıkları.

Bu çeşitli organik atık kaynakları, çevresel bir yük olmalarının yanı sıra, aynı zamanda yenilenebilir biyogaz üretimi için potansiyel hammaddelerdir. Bu süreç, atıkları azaltırken enerji üreterek döngüsel ekonomiye katkı sağlar (Abad vd., 2019).

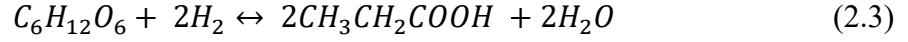
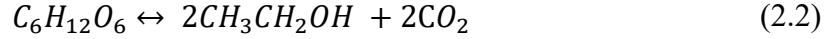
2.4.5 Biyogaz oluşum evreleri

Anaerobik sindirim sırasında organik maddenin biyolojik çözünmesi, Denklemlerde açıklanan dört adımı içeren çok adımlı bir kimyasal işlemdir (Anukam ve Berghel, 2021; Pavičić vd., 2022).

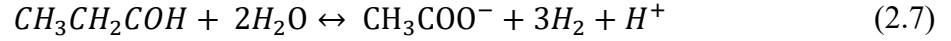
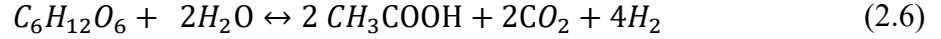
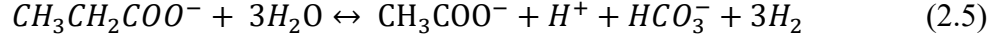
Hidroliz aşaması



Asitleşme



Asetatlaşma



Metanlaşma



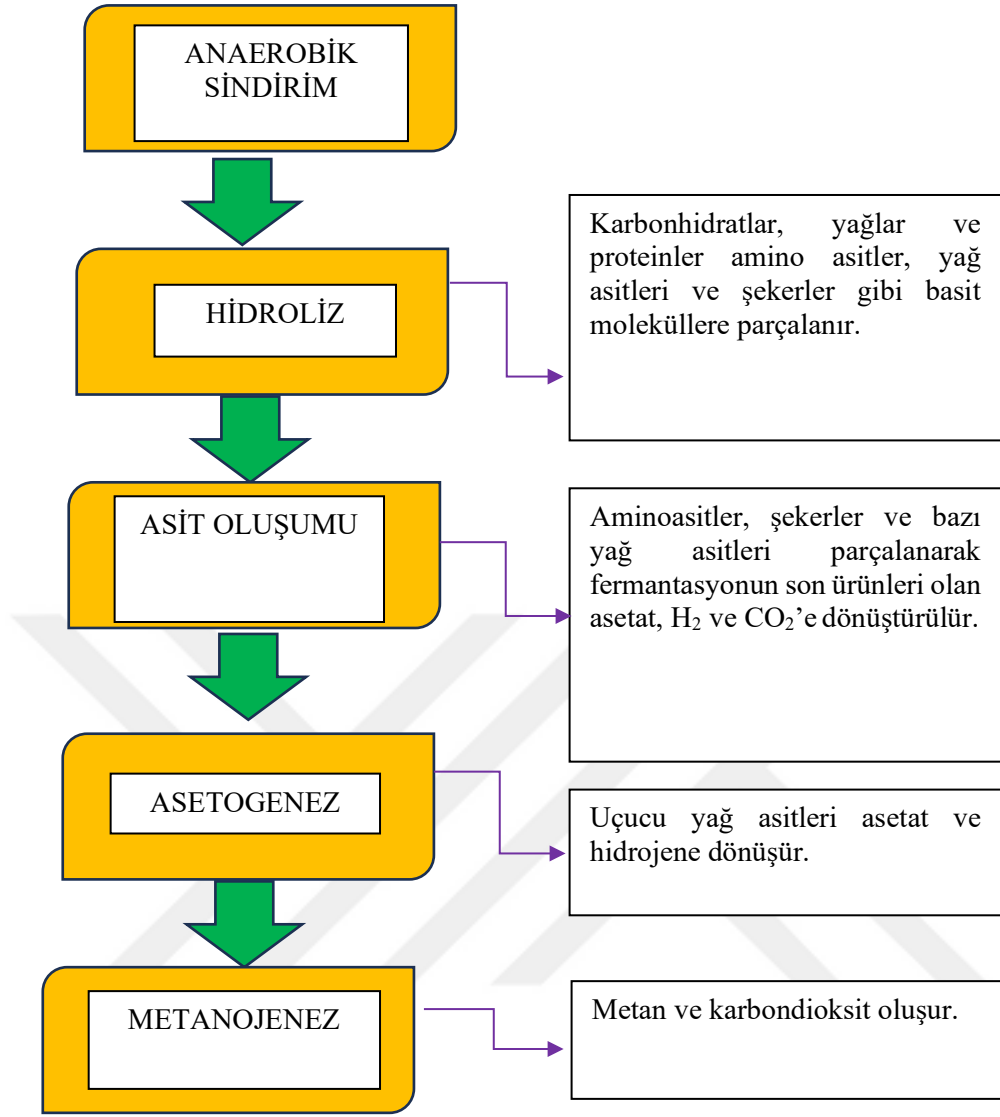
Denklemler 2.1 hidroliz, 2.3, 2.4 asitleşme, 2.5-2.7 asetatlaşma fazıyla, ve 2.8-2.10 metanlaşma aşamasıyla ilgilidir. Şekil 2.9' da biyogaz oluşum aşamaları verilmiştir.

2.4.6 Biyogaz üretiminde kullanılan teknikler

Biyogaz üretiminde kullanılan teknikler aşağıdaki gibi özetlenmiştir (ÇYGM, 2017).

Kesikli (Batch) Fermantasyon

Tesisin fermantörü (üretim tankı) hayvansal ve/veya bitkisel atıklar ile doldurulmakta ve alıkoyma bekletme süresi kadar bekletilerek biyogazın oluşumu tamamlanmaktadır. Kullanılan organik maddeye ve sistem sıcaklığına bağlı olarak bekleme süresi değişmektedir. Bu süre sonunda tesisin fermantörü (reaktörü) tamamen boşaltılmakta ve yeniden doldurulmaktadır.



Şekil 2.9. Biyogaz oluşum aşamaları.

Beslemeli-Kesikli Fermantasyon

Burada fermentör başlangıçta belirli oranda organik madde ile doldurulmakta ve geri kalan hacim fermantasyon süresine bölünerek günlük miktarlarla tamamlanmaktadır. Belirli fermantasyon süresi sonunda fermentör tamamen boşaltılarak yeniden doldurulmaktadır.

Sürekli Fermantasyon

Bu fermantasyon biçiminde fermentörden gaz çıkışı başladığında günlük olarak besleme yapılır. Sisteme aktarılan karışım kadar gazı alınmış çökelti sistemden dışarıya alınır. Organik madde fermentöre her gün belirli miktarlarda verilmekte, alıkonma süresi kadar bekletilmekte ve aynı oranlarda fermente olmuş materyal

günlük olarak fermantörden alınmaktadır. Böylece günlük beslemelerle sürekli biyogaz üretimi sağlanmaktadır.

2.5 Biyogaz Üzerine Yapılan Çalışmalar

Ülkemizde biyogaz üzerine yapılmış birçok araştırma mevcuttur. Bu araştırmalardan bazıları Eklerde Çizelge A.1’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde illerin veya bölgelerinin büyükbaş küçükbaş ve kanatlı hayvansal atıkların biyogaz potansiyellerinin yanı sıra bitkisel atıkların da biyogaz potansiyelleri hesaplandığı görülmüştür.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında, Aksaray ili ve ilçelerinde hayvansal ve tarımsal atıklardan kaynaklı üretilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Bu bağlamda Aksaray ili ve ilçelerine ait tarımsal üretim faaliyetlerini oluşturan hayvansal üretim ve tarımsal üretim miktarları belirlenmiştir. Hesaplamalara kaynak teşkil eden hayvan sayıları ve bitkisel ürün ekim alanları için 2024 Ekim ayı itibari ile güncel veriler Aksaray İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden alınmıştır.

3.2 Aksaray İli Tanıtımı

3.2.1 Tarihsel gelişim

Aksaray tarihi, günümüzden 11 bin yıl önce Orta Anadolu'nun ilk köy yerleşmesinin Aşıklı Höyük'te kurulmasıyla başlar. Aşıklı'da başlayan 11 bin yıllık serüvende farklı medeniyetlere ev sahipliği yapan Aksaray, İpek Yolu üzerinde Kapadokya'nın batıya açılan kapısı olarak tarihteki yerini almıştır.

Buzul çağıının ardından günümüzden yaklaşık 11 bin yıl önce (MÖ 9000), Orta Anadolu'da yaşayan insanlar yerleşik hayata geçmeye başlarken bilinen ilk köy yerleşmesi Aşıklı Höyük'te kurulmuştur.

Aşıklı Höyük'te sürekli bir yerleşim kurulurken bu köyü kuranlar ilk kez tarıma başladılar, hayvanları evcilleştirdiler ve ulaştıkları obsidyen teknolojisiyle birlikte Orta Anadolu'daki insanlık tarihini yazmaya başladılar. Dünyada bilinen en eski beyin ameliyatının 20-25 yaşlarında bir kadına Aşıklı Höyük'te uygulanması Aşıklı halkının ulaştığı teknolojinin de göstergesidir.

Neolitik Çağda Aksaray ve çevresi iskân görürken Böget köyü çevresinde bu döneme ait seramiklere rastlanmıştır. Kalkolitik Çağda ise yaşamın kesintisiz olarak Aksaray'da devam ettiği görülmektedir. Güvercinkayası ve Yüksek Kilise eteğindeki yerleşim bu dönemin izlerini taşımaktadır.

MÖ 3000-2000 yıllarında Anadolu'da Hattiler yaşarken bu dönemde Asurlu tacirler bölgede ticaret yapmışlardır. Aksaray'daki Acemhöyük yerleşmesi önemli bir ticaret merkezi konumuna gelmiştir.

Aksaray, Hattilerin ardından Hitit, Pers, Helenistik Dönem (Büyük İskender), Roma ve Bizans egemenliklerinde kalmıştır. MS 1. yüzyılda Aziz Paul ve müritleri tarafından Anadolu'da yayılmaya başlayan Hristiyanlık, çok tanrılı Roma taraftarlarının büyük tepkisine neden olduğundan ilk Hristiyanlar korunmak için elverişli mekanlara yerleşmişlerdir. Ayrıca inzivaya çekilmek isteyen birçok din adamı Aksaray ve çevresini tercih etmiştir. Bu dönemde Güzelyurt ve Gülağaç sınırları içinde çok sayıda yeraltı şehri inşa edilirken vadiler içinde bulunan dik yamaçlar oyularak kaya içi kiliseler ve meskenler açılmıştır.

7. yüzyıl sonlarından itibaren Müslüman Arapların Anadolu üzerinden İstanbul'a yaptıkları seferler nedeni ile bölgeye sığınan Hristiyanların sayısı artarken İhlara ve Manastır Vadisi çevresinde önemli yerleşim birimleri oluşmuştur.

1142'de Selçuklu hakimiyetine giren Aksaray'dan tarihi İpek Yolu geçerken bu dönemde çok sayıda Türk İslam eseri inşa edilmiştir. II. Kılıçarslan zamanında Aksaray'a saray, medrese, zaviye ve kervansaraylar yapılmıştır. Yine bu dönemde yapılan Sultan Han'ı, İpek Yolu üzerindeki en büyük kervansaraydır.

Selçukluların ardından İlhanlı, Danişmendli ve Karamanoğulları hakimiyetinde kalan Aksaray'ı 1470 yılında alan İshak Paşa, Fatih Sultan Mehmet'in emriyle halkın bir bölümünü İstanbul'a nakletmiştir. İstanbul'un Türkleşip İslamlaşma sürecinde iskânda değerlendirilmiş olan Aksaray halkı; bugün pek çoğu İstanbul'un Fatih ilçesi sınırları içinde kalan Aksaray, Cağaloğlu (Coğlaki), Ereğlikapı, Kurtuluş, Laleli, Ortaköy ve Sofular'a yerleştirilmiştir. Ve iskânla gidenler yeni yerleştikleri yerlere Aksaray'daki mahalle isimlerini vermişlerdir. İskân sırasında Aksaray'da kalanların yaşadığı semt: Kalanlar Mahallesi (Kalınlar) ismiyle günümüze kadar ulaşmıştır. Yine Aksaray halkının bir kısmı 1571 yılında Kıbrıs'ın fethiyle buraya yerleştirilmiştir.

Cumhuriyet dönemine kadar Konya'ya bağlı bir sancak olan Aksaray, 1920 yılında vilayet olmuş, 1933 yılında vilayetliği lağvedilerek Niğde'ye ilçe olarak bağlanmış ve 15 Haziran 1989 tarihinde yeniden vilayet olarak hızlı bir gelişim sürecine girmiştir.

Aksaray'ın adının ilk olarak eski Hitit metinlerinde geçen "Nenessa (Nenossos) olduğu sanılmaktadır. MÖ 1. bin yılda Kral Kiakki döneminde Şinakhatum-Şinukhtu olarak anılan Aksaray, Helenistik dönemde Kapadokya Krallığı'na bağlanmış ve

Garsaura olan ismi Arkhelais olmuştur. Selçuklular döneminde de Arkhelais olan adı II. Kılıçarslan tarafından Aksaray olarak değiştirilirmiş ve devletin ikinci başkenti olmuştur. Aksaray, şehre kötü insanların alınmamasından dolayı iyi insanların yaşadığı yer anlamına gelen "Şehr-i Süleha" olarak anılmıştır.

Şehirde güçlü bir tasavvuf hayatı yaşanırken Evliya Çelebi'nin seyahatnamesinde belirttiği üzere 7 binden fazla evliyanın yaşadığı şehir evliyalar şehri olarak anılmaktadır. Taptuk Emre, Yunus Emre, Cemâleddini Aksarâyî, Şeyh Hamîdüddini Aksarâyî (Somuncu Baba), Yûsuf Hakîkî Baba gibi öne çıkmış tasavvuf alimleri Aksaray'da yaşamışlardır (URL-5).

3.2.2 Aksaray ili coğrafyası

Kuzey ve güney Anadolu dağlarının birbirinden uzaklaştığı İç Anadolu Bölgesi'nin Orta Kızılırmak kesiminde ve Kuzey Yarımkürede 38-39 kuzey paralelleri ile 33-35 doğu meridyenleri arasında yer alan Aksaray'ın, kuzeyinde Kırşehir ve Ankara, doğusunda Nevşehir, güneydoğusunda Niğde, güneyinde Konya, kuzeybatısında Tuz Gölü bulunmaktadır (Şekil 3.1). Aksaray, 7.997 km²'lik yüzölçümüyle Türkiye'nin %10'unu kaplamaktadır. Türkiye geneli iller sıralamasında 39. sıradadır. Aksaray'ın deniz seviyesinden yüksekliği 980 m'dir.



Şekil 3.1. Aksaray ilinin coğrafi konumu.

Dağlar: Geniş bir arazi alanına sahip olan bölgemizde Erciyes'ten sonra Orta Anadolu'nun en yüksek dağı olan Hasandağı (3268 m.), Küçük Hasandağı (3040 m.)

ve Ekecik Dağı (2033 m.) gibi volkanik dağlar ile lavların meydana getirdiği platolar bulunmaktadır.

Ova ve Yaylalar : Aksaray'ın yüzölçümünün büyük bir kısmı ovalık olup, bu ovaya İlin adı verilmiştir. Uçsuz bucaksız düz bir araziden oluşan Aksaray Ovası'nın yolu, kimi yerde yaylalar tarafından kesilir, küçük yükseltiler halindeki engebeler Ova'nın göz alabildiğine uçsuz bucaksızlığını tatlı bir şekilde kesintiye uğratar. Önemli yaylaları ise Obruk, Haydar, Çağşak, Yeniyayla, Aliaga Obası ve Kemerseki olup, Eski ilçe en çok yaylası olan (72 yayla) ilçedir.

Baraj ve Akarsular : Aksaray ilinde 1 baraj bulunmaktadır. Mamasın Barajı'nın debisi 165 milyon m³' dür. Mamasın Barajı Melendiz Çayı (debisi 2.22 L/s), Karasu (1.90 L/s) ve diğer havzalardan (toplam debi 1,11 L/s) beslenmektedir.

Akarsular bakımından fakir olan İlimizin en önemli akarsuyu Melendiz Dağlarında doğan Melendiz Çayı (Ulurmak)'dır. Karasu ve Eşmekaya Çayları da diğer akarsularımız arasındadır. Ekecik Deresi, Helvadere, Peçeneközü Deresi ve Kızılırmak Nehrine mansap olan Öteyüz, İnatlı ve Köşkerli dereleri önemli yerüstü kaynaklarındandır. İlimizde akarsular denize ulaşamaz ve Tuz Gölü yakınlarında yeraltına inerek kaybolurlar.

Göl ve Göletler: Konya-Aksaray sınırları içerisinde yer alan, Türkiye'nin en büyük ikinci gölü olan ve 1500 km² yüzölçümüne sahip denizden yüksekliği 925 m olan Tuz Gölünün 400 km²'si İlimiz sınırları içerisinde. Termal ve turizm yönünden önemli Acıgöl İlimiz Sofular Kasabası ile Niğde İlinin müşterek gölüdür. Ayrıca Kocagöl, Kartal Gölü, Öküz Gölü, Sarıgöl ve Uyuz Gölü gibi irili ufaklı göller vardır. Bu tabii göller yanında, sulama, taşkınlardan korunma amaçlı göletler de bulunmaktadır. Bunların en önemlisi Melendiz Çayı (Ulurmak) üzerinde bulunan ve yüzölçümü 162 km² olan Mamasın baraj gölüdür. Ortaköy yakınlarındaki Kültepe ve Bozkır baraj gölleri yanında tamamen sulama amaçlı olarak yapılan Ortaköy-Balcı Göleti, Helvadere Göleti, Ortaköy-Çiftevi Göleti, Güzelyurt gibi göletler de vardır. Hirfanlı Barajı ve Eşmekaya Sazlıkları da İlimiz sınırları içindedir (URL-6).

3.2.3 Arazinin jeolojik yapısı

İkinci zamanın uzun süren durgunluk dönemini takip eden üçüncü zaman birçok orojenik, volkanik hareketlerin olduğu dünyanın fiziki ve biyoloji görünümünün bugüne süratle yaklaştığı zamandır. Bu zamanda Alp-Himalaya sistemine giren genç dağlar oluşurken, Türkiye’de bu hareketlerden etkilenecek kuzeyde Karadeniz Dağları oluşmuş, İç Anadolu fazla etkilenmemiş ve sadece bazı kıvrımlar ve volkanik hareketler meydana gelmiştir.

Aksaray, İç Anadolu Bölgesinin güney doğusunda, Orta Kızılırmak platosunun devamını teşkil eden ve tersiyerde oluşmuş kalkerli volkan tüflerinin meydana getirdiği arazi ile Tuz Gölü havzasının devamı olan ova üzerine kurulmuştur. Güneyde ve doğuda tersiyerde oluşmuş volkanik arazi geniş yer tutar. Volkanik dağların en önemlileri Hasandağı ile Melendiz Dağlarıdır. İl merkezinin kuruluş alanı ise orta Kızılırmak platosunun Tuzgölü havzasından ayrıldığı fay basamağının güneyidir. Bu fay basamağı Melendiz Dağlarından gelen ve Tuz Gölü’ne ulaşan Ulurmağın biriktirdiği alüvyonlarla, doğusunu çevreleyen platolardan taşınan alüvyonların birikinti ovası üzerindedir (URL-7).

3.2.4 Bitki örtüsü

Aksaray’ın iklimine bağlı olarak tabii bitki örtüsü, ilkbaharda yeşeren çayırılar, gelincik, papatya, keven ve diğer vs. otlarla, yaprakları dikensi bir görünüme sahip, yarı kurakçıl bitkilerdir. Yazları sıcak ve kurak iklim yapısı hâkim olduğundan ilkbaharda yeşeren otlar, sonbaharda kurur ve arazi bozkır yapısını alır. Hasandağı ve Ekecik Dağları üzerinde meşe koruluklarına rastlanır. Ayrıca bölgede palamut, alıç, kızılcık, kavak, söğüt, yabani armut ve meyve ağaçları yanında keven ve deve dikenini çok sık rastlanan bitki türleridir (URL-7).

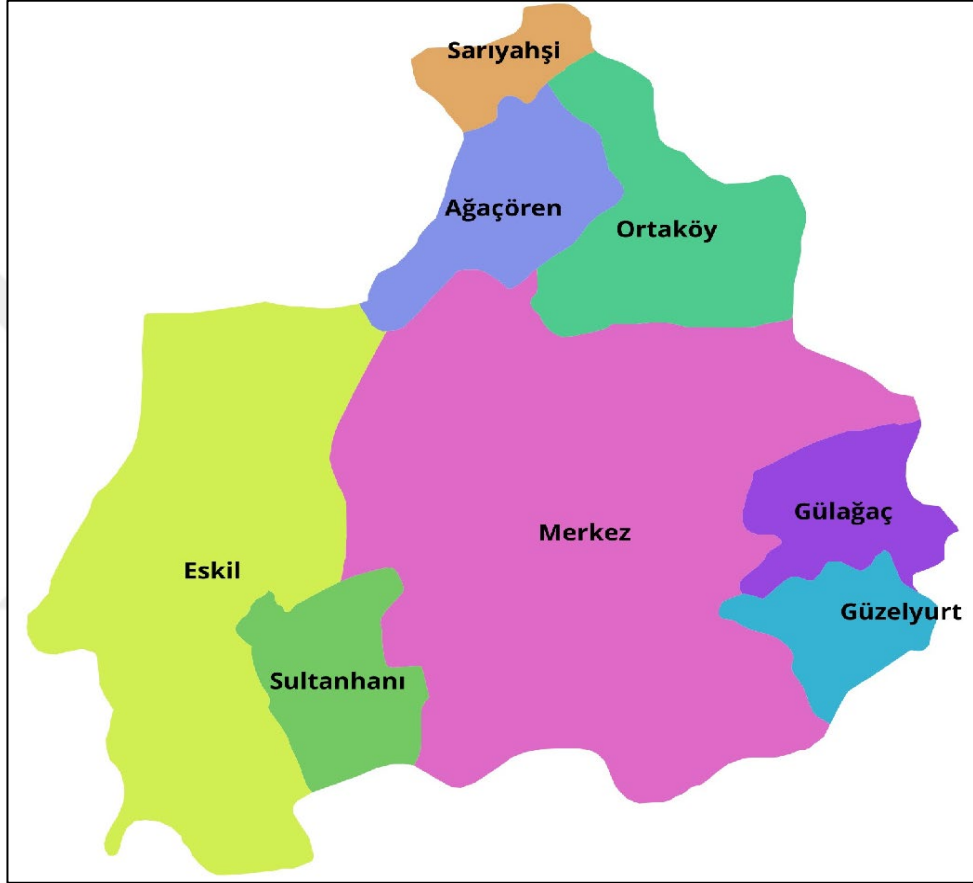
3.2.5 İklim

Aksaray İli orta iklim kuşağında olup, soğuk, karasal iklim tipine sahiptir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Yağışlar genellikle ilkbahar ve kış aylarında görülmektedir. Ortalama yağış miktarı (son 40 yıl) 340 mm (kg/m²)’ dir. Yaz-kış ve gece-gündüz sıcaklık farkları çok fazladır. Yaz aylarında nem az olup, sıcaklık ve rüzgar şiddetinin fazla olmamasından dolayı buharlaşma miktarı yüksektir. Kar erimeleri ilkbahar aylarında taşkınlar ve toprak kaymalarına neden olmaktadır.

Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı: 65.8 kg/m² (29.10.1998) - Günlük En Hızlı Rüzgar: 165.6 km/sa (12.03.1968) - En Yüksek Kar: 45.0 cm (URL-7).

3.2.6 Aksaray ili ilçeleri

Aksaray merkez ve ilçelerin idari sınırlarını gösteren harita (1/700000 ölçekli) aşağıdaki şekilde (Şekil 3.2) gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Aksaray ili ilçeleri.

Merkez: Aksaray merkez ilçesi 1989'da çıkarılan 3578 sayılı kanunla kurulmuştur. Günümüz itibariyle Merkez ilçenin toplam yüzölçümü 4606 dekar, rakımı 980 ve nüfusu 319.865 kişidir. 1530 yılı Osmanlı kayıtlarında Karaman Eyaleti'nin Niğde Sancağına bağlı müstakil bir liva olan Aksaray'da 5000-6000 arasında bir nüfusa sahipti. Osmanlı'nın ilk resmi nüfus sayımı sadece erkek nüfusun tespit edilmesi için yapılmış olup, bu sayıma göre Aksaray merkezde 2.322 erkek olduğu tespit edilmiştir. 1868-69 tarihli salnamede 1.020 hane bulunduğu kayda geçmiştir. 19. yüzyıl ortalarında Niğde sancağına bağlı bir kaza olarak bahsedilmiştir. 1933 yılında Aksaray ilinin kapatılmasıyla yeniden Niğde ilinin bir ilçesi oldu. Daha sonra 1989'da çıkarılan

3578 sayılı kanunla Aksaray ilinin yeniden kurulmasıyla bu ilin merkez ilçesi konumuna gelmiştir.

Ağaçören: TÜİK verilerine göre 2022 yılı itibarıyla ilçenin nüfusu 7.577 ve rakımı 1.100 dır. İlçenin toplam yüz ölçümü 410.191 dekar olup, bu alanın 229.220 dekarı tarım arazisi, 98.413 dekarı çayır mera, 12.558 dekarı tarım dışı arazilerdir. Tarım alanlarının kullanımı ise; 11.961 dekar sulu tarım arazisi ve 284.259 dekar kuru tarım arazisi şeklindedir. İlçenin ismi 15 yüzyılda Osmanlı Devleti döneminde Panlı olarak geçmiştir. 1961 yılına kadar Panlı olarak anılmış, daha sonra ismi Ağaçören olarak değiştirilmiştir.

Eskil: Eskil, 09.05.1990 tarih ve 3644 sayılı kanunla ilçe statüsüne getirilmiştir. TÜİK verilerine göre ilçenin yüzölçümü 1.369 km², rakımı 980 ve nüfusu 27.188'dir. Eski kaynaklarda daha ziyade Eski il olarak geçen Eskil'in ilk kurulduğu yer bugün Gavuröreni olarak bilinen ve İlçenin daha kuzeyinde, Tuz Gölünün yakınında bulunan mevkiidir. Anadolu Selçuklu Hâkimiyeti ile birlikte Sultan II. Kılıçarslan tarafından Eskil ve çevresine Türk boyları yerleştirilerek bölge Türkleştirilmiştir. Selçuklular zamanında Eskil'in Karaman Vilayetine bağlı Esb-Keşan Kazalar grubuna merkezlik yaptığı İstanbul Başvekalet arşivi İl Yazıcı defterinde belirtilmektedir. Geniş yerleşim yerlerine sahip Eskil'de tarihi kalıntılara rastlanılmaktadır. Böğet Köyü, Ortakuyu, Köşk, Hüyük, Mutlu, Çulfa, Sağsak ve Tosun Yaylalarında höyükler mevcuttur.

Gülağaç: Gülağaç 09.05.1990 tarih ve 3644 sayılı kanunla ilçe statüsüne getirilmiştir. İlçenin yüz ölçümü 2860 km², rakımı 1.170 ve 2022 yılı nüfusu 19.158'dir. Gülağaç ilçesinin yüzölçümü 529.170 dekar olup, bunun 303.539 dekar tarım arazisidir. İlçede bulunan tarihteki ilk yerleşim birimlerinden biri Âşıklı Höyük, Orta Anadolu'nun ve Kapadokya'nın ilk köyü olma özelliğine sahiptir, 10 bin 500 yıllık geçmişiyle Anadolu'daki teknolojik ve bilişsel gelişmelere öncülük etmektedir. Âşıklı, avcı, toplayıcı ve göçerlerin yerleşik hayata geçtiği Orta Anadolu'daki bilinen ilk köydür. Ayrıca, ilçenin en önemli doğal güzelliklerinden biri olan Narlıgöl, Aksaray-Niğde sınırında bulunmaktadır. Bu göl; kalsiyum, sodyum ve bikarbonat açısından çok zengin olduğu için çeşitli hastalıklara iyi gelmektedir. Dört mevsim farklı doğal güzelliği ile ziyaretçilerini büyüleyen Narlıgöl, Kapadokya'nın ortasında yer almaktadır.

Güzelyurt: 15 Haziran 1989 tarihinde de 3578 Sayılı Kanunla İlçe olmuştur. İlçenin yüzölçümü 322 km² rakımı 1.485 ve 2022 yılı Nüfusu 10.467'dir. Güzelyurt İlçesi'nde yapılan araştırmalara göre yörede bulunan tarihi eserlerden ve yeraltı şehirlerinden yola çıkarak yörede M.Ö. 2500 yıllarından bu yana yaşam belirtileri olduğu anlaşılmıştır. İlçe merkezinde bulunan 7 km uzunluğundaki Manastır Vadisi ile 14 km uzunluğundaki İhlara Vadisi içerisinde eski çağlardan kalma tarihi ve doğal yer altı şehirleri, kiliseler ve mağaralar bulunmaktadır. Güzelyurt Kapadokya bölgesinin bir uzantısı konumundadır.

Ortaköy: Ortaköy ilçesinin yüzölçümü 752 km² rakımı 1.210 ve 2022 yılı Nüfusu 31.818'dir. 1470'de İhsak Paşa'nın Şereflikoçhisar ve Aksaray çevresini Osmanlı hakimiyetine almasıyla birlikte, Ortaköy ve çevresi de Osmanlı yönetimine girdi. Bu dönemde Aksaray, Karaman Eyaletine bağlı bir sancak merkezidir. Ortaköy halkı, Aksaraylılar gibi II.Beyazıd dönemindeki Cem Sultan isyanında, Sultan Beyazıd tarafını tutmuşlardır. Kurtuluş Savaşı sırasında, vatanın kurtuluşu için her türlü fedakarlıkta bulunmuşlardır.

Sarıyahşi: Sarıyahşi ilçesinin yüzölçümü 224 km², 1.092 m rakım ve İlçenin 2022 yılı Nüfusu 5.097'dir. Sarıyahşi 1957 yılında Kasaba olmuştur. Ankara ili Şereflikoçhisar ilçesine bağlı iken, 15.06.1989 tarih ve 3587 sayılı kanun ile ilçe olmuş ve yine aynı kanun ile il olan Aksaray'a bağlanmıştır. Sarıyahşi ismini kesin olarak nereden ve nasıl aldığı tam olarak bilinmemektedir. Ancak araştırmalar sonucu elde edilen bilgi ve belgelerden: İsmi, İbrahim Hakkı Konyalı'nın "*Abideleri ve Kitabeleri ile Şereflikoçhisar Tarihi*" adlı eserinde yer alan Yahşi Han'dan almıştır. Türk Askeri olan Yahşi Han yaralı olarak askerler ile Sarıyahşi'den geçerken vefat eder. O zamana kadar Sarı olarak bilinen yer, Yahşi ile birleşerek, şimdiki Sarıyahşi ismini alır. Sözlükte Yahşi "Güzel" anlamına gelmektedir.

Sultanhanı: Sultanhanı ilçesi 25 Ağustos 2017 tarih 694 sayılı KHK ile ilçe statüsüne kavuşmuştur. İlçenin yüzölçümü 463 km 945 metre rakımı ve 2022 yılı Nüfusu 11.885'dir. Bu ilçede dünyanın dört bir yanından gelen yüzlerce yıllık tarihi halılar aslına uygun olarak restore edilmektedir. Sultanhanı, halı sektörüne 1970'li yıllarda el dokuması halı üretimi ve halı restorasyonu ile girdi. Halı üretimi ve restorasyonunda kısa süre içerisinde adını duyuran Sultanhanı, 1990'lı yıllardan itibaren yurt dışına açıldı. Halısıyla kısa süre içerisinde yurt dışında da ün yapan ilçe, Uzakdoğu

lkelerinin halı sektörüne girmesinden olumsuz etkilendi. İşletmelerde bunun üzerine kendilerine yeni bir yol çizerek halı restorasyonuna yöneldiler. Binlerce genç atölyelerde çıraklıktan başladıkları eēitimde sanat ustası olarak yetişiyorlar. Bu nedenle Sultanhanı uluslararası piyasalarda halı restorasyonu önemli bir yere sahiptir. Almanya, İngiltere ve ABD başta olmak üzere birçok ülkeden yıpranmış halıları tamir için beldeye getirilmektedir. Aynı zamanda İngiltere kraliyet ailesine ait çok sayıda tarihi halı da Sultanhanı'nda restore edilmiştir. Ayrıca, Dolmabahçe Sarayı'nın da 100'n üzerinde tarihi halısı Sultanhanı'nda onarılmıştır. Kısacası, antik halı konusunda dünyanın önemli koleksiyonları Sultanhanı'nda onarılmaktadır (URL-8).

3.2.7 Aksaray İli doēal güzellikleri

Aksaray, Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi'nde bulunan bir şehirdir. Tarihi İpek Yolu'nun getiēi önemli ticaret rotalarından birinde konumlanmış olan Aksaray, zengin tarihi ve kültürel mirasıyla dikkat çeker. şehir, Kapadokya'nın yakınında yer almasıyla da bilinir ve tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliēi yapmıştır. Selçuklu dönemine ait tarihi yapıları, antik dönem kalıntıları, doēal güzellikleri ve yöresel lezzetleriyle Aksaray, ziyaretçilere unutulmaz bir deneyim sunar. Ayrıca, sulak alanları ve kuş göç yollarıyla da doēa tutkunlarını cezbeder. Aksaray, tarih ve doēanın i içe getiēi bir şehir olup, her yıl binlerce yerli ve yabancı turisti aēırlamaktadır. İhlara Vadisi: Aksaray'ın güneyinde bulunan İhlara Vadisi, Melendiz ayı'nın yıllar boyunca kayaları oyarak oluřturduēu etkileyici bir doēal oluşumdur. Yaklaşık 14 kilometrelik uzunluēuyla vadiye yürüyüş yapabilir, antik döneme ait manastırları ve kiliseleri ziyaret edebilirsiniz. Kiliselerdeki duvar resimleri, Bizans döneminin dini sanatının önemli örnekleridir.

Sultanhanı Kervansarayı: Sultanhanı ilçesinde bulunan bu büyüleyici kervansaray, Selçuklu Sultanı Alaaddin Keykubat tarafından yaptırılmıştır. 13. yüzyılda inşa edilen kervansaray, İpek Yolu üzerinde seyahat eden kervanların konaklaması ve ihtiyaçlarını karşılaması için kullanılmıştır. Büyük avlusu, tarihi atmosferi ve görkemli mimarisiyle dikkat çeke.

Eēri Minare Camii: Aksaray'ın merkezinde yer alan Eēri Minare, Selçuklu dönemine ait önemli bir tarihi yapıdır. 1221 yılında yapılmış olan caminin minaresi, yksekliēi

ve eğik yapısıyla dikkat çeker. Efsanelere ve hikayelere konu olan minare, bölgenin simgelerinden biridir.

Acemhöyük Ören Yeri: Aksaray'ın güneydoğusunda bulunan Acemhöyük, Hitit dönemine ait önemli bir arkeolojik alanı kapsar. Burada yapılan kazılarda Hititlere ait kalıntılar, eserler ve tarihi buluntular gün yüzüne çıkarılmıştır. Ziyaretçiler, antik çağlara ait izleri keşfetmek için Acemhöyük'ü ziyaret edebilirler.

Aksaray Müzesi:Şehir merkezinde bulunan Aksaray Müzesi, bölgenin arkeolojik ve kültürel mirasını sergiler. Hitit, Frig, Roma ve Bizans dönemlerine ait eserlerin yanı sıra yöresel yaşamı yansıtan objeler de müzede sergilenir. Müze, ziyaretçilere bölgenin zengin tarihini ve kültürünü daha yakından tanıma fırsatı sunar.

Ağzıkarahan Kervansarayı:Güzelyurt ilçesinde bulunan Ağzıkarahan, Selçuklu döneminden kalma büyüleyici bir kervansaraydır. İpek Yolu üzerinde seyahat eden kervanların konaklaması ve ticaret yapması için inşa edilmiştir. Mimari açıdan etkileyici olan Ağzıkarahan, ziyaretçilere tarihi bir yolculuk sunar.

Manastır Vadisi: Güzelyurt ilçesinde bulunan Manastır Vadisi, tarihi manastırları ve kiliseleriyle ünlüdür. Kayalara oyulmuş manastırlar, Orta Çağ döneminin dini yaşamına ışık tutar. Ziyaretçiler, vadide yürüyüş yaparak antik manastırları keşfedebilir ve bölgenin mistik atmosferini deneyimleyebilirler (URL-9).

3.2.8 Aksaray ili tarım ve hayvancılık

Aksaray ilinin sosyo-ekonomik yapısı tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır.

Bitkisel Üretim

Nüfusunun yüzde 80'inin tarım ve hayvancılıkta geçimini sağladığı Aksaray'da tarımsal üretim değeri her geçen yıl artmaktadır. Aşağıdaki tabloda Aksaray İline ait tarım alanlarına ayrılan alanların yüzölçümleri hakkında bilgi verilmiştir. Aşağıdaki çizelgede (URL-10) verilmiştir.

Çizelge 3.1. Aksaray ili tarım arazileri yüzölçümleri.

Yüzölçümü	7 milyon 659 bin dekar
Toplam tarım alanı	3 milyon 845 bin 248 dekar
Mera alanı	2 milyon 134 bin 590 dekar
Nadas alanı	830 bin 500 dekar
Orman alanı	234 bin 690 dekar

Aksaray İlinin tarım yapmak için uygun olduğu nedenler şu şekilde özetlenebilir (URL-11).

- İlin ulaşım imkânlarının uygun olması,
- Kalkınmada öncelikli bölgelere mahsus teşviklerin bulunması,
- Kaliteli ve sürekli kaba yem (yonca ve silajlık mısır) temininin kolay olması,
- Geniş tarım arazilerinin olması,
- Süt ve ürünleri alanında ulusal firmaların bulunması,
- İklim ve toprak yapısı olarak yem bitkileri yetiştiriciliğine uygun olması,
- Ankara, Konya, Kayseri ve Adana gibi büyük şehirlere yakınlığı nedeniyle pazarlama konusunda avantajlı olması,
- Üreticilerin kooperatifleşme oranının oldukça yüksek olması,
- Kalifiye ve ucuz işgücü potansiyelinin fazla olması,
- İlde demiryolu projesinin programa alınmış olması

Aksaray ilinde yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve kar yağışlı geçer. Bu nedenle bu iklim tipine uygun ürünler yetiştirilir. Aksaray'daki bitkisel üretimi genel hatlarıyla şöyle özetleyebiliriz:

Tahıl üretimi

- **Buğday:** Aksaray'da en çok ekilen ürünlerden biridir. Kuraklık ve sıcaklığa dayanıklı olduğundan, bölgedeki çiftçilerin en çok tercih ettiği tarım ürünüdür.
- **Arpa:** Buğdaya benzer şekilde Aksaray'da önemli bir tahıl ürünüdür. Hayvancılık faaliyetleriyle bağlantılı olarak arpa üretimi de yaygındır.
- **Mısır ve Çavdar:** Aksaray'da üretilen diğer tahıl ürünleridir.

Baklagiller

Nohut ve mercimek: Aksaray’da, özellikle sulama imkânı olmayan alanlarda baklagil üretimi yaygındır. Nohut ve mercimek hem yerel tüketim hem de ihracat için üretilir.

Şeker pancarı

Aksaray’da önemli tarım ürünlerinden biridir. Şeker pancarı, bölgedeki sulanabilir tarım arazilerinde yetiştirilir ve şeker fabrikalarına hammadde sağlar.

Ayçiçeği

Aksaray’da yağlı tohum bitkilerinin üretimi de yapılmaktadır. Ayçiçeği yağ üretiminde kullanılmak üzere yetiştirilir.

Sebze ve meyve üretimi

Aksaray’da tahıl ve baklagil üretiminin yanı sıra sebze ve meyve üretimi de yapılmaktadır. Özellikle domates, biber, soğan gibi sebzeler yaygın olarak yetiştirilir.

Meyve olarak elma, kiraz ve kayısı bölgede yetiştirilen başlıca meyveler arasındadır.

Bağcılık

Aksaray’da üzüm yetiştiriciliği de yapılmaktadır. Bölgedeki bağcılık hem sofralık hem de şaraplık üzüm üretimini kapsar.

Seracılık

Aksaray’da seracılık faaliyetleri de giderek gelişmektedir. Modern tarım teknikleri kullanılarak mevsim dışı sebze üretimi yapılabilmektedir.

Hayvancılık

Aksaray, İç Anadolu Bölgesi’nde yer alması ve geniş meralara sahip olması nedeniyle hayvancılık açısından da önemli bir potansiyele sahiptir. Bölgedeki iklim koşulları ve coğrafi yapısı, hayvancılık faaliyetlerinin çeşitlenmesine olanak sağlamıştır. Aksaray’da hayvancılık, hem küçükbaş hem de büyükbaş hayvan yetiştiriciliği açısından öne çıkmaktadır.

Aksaray İline ait hayvan sayıları 04.10.2024 tarihinde Aksaray İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden alınmış ve aşağıdaki Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Türkiye İstatistik Kurumu 2023 yılı verilerine göre Türkiye'de 16.583.000 adet büyükbaş hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan 16.421.000 adeti ise sığır türüne aittir. Aksaray İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden alınan bilgilere göre Aksaray ilinde sığır türü hayvan sayısı ise 346.375 adettir. Buna göre Türkiye'de yetiştirilen sığırların yaklaşık olarak %2,10'u Aksaray ilinde yetiştirilmektedir.

Aynı şekilde Türkiye İstatistik Kurumu 2023 yılı verilerine göre Türkiye'de 52.363.000 adet küçükbaş hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan 42.060.000 adeti ise koyun türüne aittir. Aksaray İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden alınan bilgilere göre Aksaray ilinde bulunan koyun sayısı ise 869.671 adettir. Buna göre Türkiye'de yetiştirilen koyunların yaklaşık olarak %2,07'i Aksaray ilinde yetiştirilmektedir.

Benzer şekilde Türkiye İstatistik Kurumu 2023 yılı verilerine göre Türkiye'de 10.303.000 adet keçi bulunmaktadır. Aksaray İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden alınan bilgilere göre Aksaray ilinde bulunan keçi sayısı ise 76.199 adettir. Buna göre Türkiye'de yetiştirilen keçilerin yaklaşık olarak % 0,7'si Aksaray ilinde yetiştirilmektedir.

Çizelge 3.2. Aksaray ili hayvan sayıları.

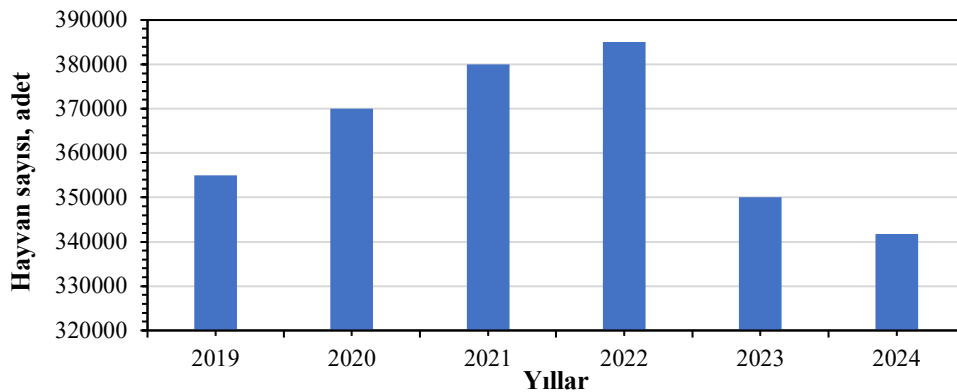
Hayvan Cinsi	Sarıyahşi	Ağaçören	Ortaköy	Merkez	Gülağaç	Güzelyurt	Sultanhanı	Eskil
1 yaş altı büyükbaş	485	1209	4349	30154	2382	1486	5402	18316
1-2 yaş arası büyükbaş	453	731	3420	40002	2695	1018	6193	19266
2 Yaş ve üzeri büyükbaş	1596	2639	9859	111516	6283	3248	12571	61102
Keçi	1487	4000	6607	53632	2440	2763	819	4451
Koyun	13645	21853	55167	472396	26956	20157	64123	195374
Et tavuğu	0	0	10000	50450	16900	6000	2410	3900
Yumurta tavuğu	0	0	0	151800	0	0	0	0

Aksaray ili büyükbaş hayvan sayısı

Aksaray'da büyükbaş hayvancılık oldukça yaygındır. Özellikle süt sığırcılığı, bölgedeki çiftçilerin en önemli geçim kaynaklarından biridir. İlde modern süt çiftlikleri ve mandıralar bulunmaktadır. Aksaray'da üretilen süt, yerel pazarlarda satılmakta ve süt ürünleri üretiminde kullanılmaktadır. Sığır yetiştiriciliği aynı zamanda et üretimi için de yapılmaktadır. Bölgedeki hayvan çiftlikleri, Türkiye'nin et ihtiyacının bir kısmını karşılamaktadır. Aksaray hayvan sayıları ve hayvancılık hakkındaki bilgiler aşağıdaki gibi İl Müdürlüğünden temin edilmiştir (Anonim, 2024).

Aksaray İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden 04.10.2024 tarihinde alınan bilgiler doğrultusunda Aksaray ilinde 346.375 adet büyükbaş hayvan bulunmaktadır. Büyükbaş hayvan sayısının en fazla olduğu ilçe 181.672 adetle Merkez olurken, bunu 98.684 adet ile Eskişehir ilçesi ardından da 24.166 adet büyükbaş varlığı ile Sultanhanı ilçesi izlemektedir.

Aksaray'da son 5 yıl içinde büyükbaş hayvan sayısı önemli dalgalanmalar yaşamıştır. 2022 yılında Aksaray'da büyükbaş hayvan sayısı 385.574 baş olarak kaydedilmiştir. Ancak, hayvancılık sektöründeki bazı zorluklar nedeniyle bu sayı yıllar içinde değişiklik göstermektedir. Örneğin, süt fiyatlarındaki düşüşler ve girdi maliyetlerinin artması nedeniyle birçok üretici hayvanlarını kesime göndermek zorunda kalmış, bu da büyükbaş hayvan sayısında düşüşe neden olmuştur. Son 6 yıla ait Aksaray'da yetiştirilen büyükbaş hayvan sayısının yıllara göre değişimi aşağıdaki Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Son 6 yıl içerisinde Aksaray'da yetiştirilen büyükbaş hayvan sayısının yıllara göre dağılımı.

Aksaray İli küçükbaş hayvan sayısı

Aksaray İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden 04.10.2024 tarihinde alınan en güncel bilgiler Aksaray ilinde 945.870 adet küçükbaş hayvan bulunmaktadır (Çizelge 3.3). Küçükbaş hayvan sayısının en fazla olduğu ilçe 526.028 adetle Merkez olurken, bunu 199.825 adet ile Eskiil ilçesi ardından da 64.942 adet küçükbaş varlığı ile Sultanhanı ilçesi izlemektedir.

Çizelge 3.3. Aksaray ili küçükbaş hayvan sayısı.

İlçeler	Koyun sayısı (adet)	Keçi sayısı(adet)	Toplam(adet)
Ağaçören	21853	4000	25853
Sarıyahşi	13645	1487	15132
Eskiil	195374	4451	199825
Gülağaç	26956	2440	29396
Güzelyurt	20157	2763	22920
Ortaköy	55167	6607	61774
Sultanhanı	64123	819	64942
Merkez	472396	53632	526028
Toplam	869671	76199	945870

Aksaray ili kanatlı hayvan sayısı

Aksaray İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nden 04.10.2024 tarihinde alınan bilgiler doğrultusunda Aksaray ilinde 241460 adet kanatlı hayvan bulunmaktadır (Çizelge 3.4). Kanatlı hayvan sayısının en fazla olduğu ilçe 202250 adetle Merkez olurken, bunu 16900 adet ile Gülağaç ilçesi ardından da 10000 adet kanatlı hayvan varlığı ile Ortaköy ilçesi izlemektedir.

Çizelge 3.4. Aksaray ili kanatlı hayvan sayısı.

İlçeler	Et tavuğu (adet)	Yumurta tavuk (adet)	Toplam
Ağaçören	0	0	0
Sarıyahşi	0	0	0
Eskiil	3900	0	3900
Gülağaç	16900	0	16900
Güzelyurt	6000	0	6000
Ortaköy	10000	0	10000
Sultanhanı	2410	0	2410
Merkez	50450	151800	202250
Toplam	89660	151800	241460

3.3 Hesaplamalarda Kullanılan Yöntemler

Elde edilen veriler ve hesaplama sonuçları Aksaray ili ve ilçelerini içerecek şekilde Quantum Geographic Information System (QGIS) veri görüntüleme, düzenleme ve çözümleme yetenekleri sağlayan çoklu platform destekli özgür ve açık kaynaklı bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı kullanılarak; hem sayısal hem sözel bilgilerin haritalandırılması yapılmıştır.

CBS grafik ve grafik olmayan her tür bilginin; toplanması, depolanması, işlenmesi, birbiri ile ilişkilendirilmesi, güncellenmesi, sorgulanması, analiz edilmesi ve sunulması için oluşturulan bir sistemdir.

CBS ve haritalama çalışmalarına yönelik köy,ilçe ve il sınırları ile ilgili grafik veriler Kadastro İl Müdürlüğü'nün güncel verileri alınarak harita programlarından olan Netcad programı ile veritabanı şeklinde hazırlanmış sözel bilgilerle ilişkilendirilerek dışa aktarılmıştır.

CBS çalışmalarına yönelik; GIS yazılım sistemlerine göre, benzer kullanıcıların farklı harita projeksiyonları kullanılarak çok katmanlı haritalar oluşturmaya olanak sağlayan çoklu platform destekli, özgür ve açık kaynaklı bir program olan QGIS tercih edilmiştir. QGIS programı ile veriler düzenlenmiş, birleştirilmiş, tematik haritalar oluşturulmuş ve kağıt çıktıları alınarak dosyalanmıştır.

3.3.1 Tarımsal atık kaynaklarının hesaplanması

Tarımsal atıklarından biyogaz hesabı yapmak için öncelikle toplanabilir atık miktarının hesaplanması gereklidir. Literatürde değişik çalışmalarda (Aksay ve Tabak, 2022; Braun, 2007; DBFZ, 2011; Monforti vd., 2015) aşağıdaki denklem (3.1) ile toplanabilir bitkisel atık miktarı hesaplanmıştır.

$$BTA_i = BHA_i \cdot BAP_i \cdot BTO_i \quad (3.1)$$

$$BTA = \sum_{i=1}^n BTA_i \quad (3.2)$$

Burada;

BTA: Toplam bitkisel toplanabilir atık miktarı, ton/yıl

BTA_i: Her bir bitkinin toplanabilir miktarı atık, ton/yıl

BHA_i: Her bir bitkinin toplam hasat alanı, dekar

BAP_i: Her bir bitki atık potansiyeli, ton/dekar
BTO_i: Her bir bitki atık toplanma oranı
n: hesaplamalarda kullanılan bitki cinsi sayısı

Bitkisel atıklardan metan üretimi için yapılan hesaplamalarda kullanılan tipik katsayılar aşağıdaki Çizelge 3.5’de (Daniel-Gromke vd., 2016; DBFZ, 2011; Monforti vd., 2015; Scarlat vd., 2010) verilmiştir. Çizelgedeki değerler kalıntı miktarı, KM, UKM ve metan% değerleri (FNR, 2006) yapılan çalışmaya dayanmaktadır. Ancak bazı kaynaklarda hesaplamalarda spesifik kabullerin kullanımında, özellikle metan potansiyeli hesabı yapılırken ciddi birim hataları yapılmıştır. Örneğin Özer (2017) ve Aksay ve Tabak (2022) çalışmalarında Buğday bitkisi için 295,2 m³ CH₄/ton ve arpa için 351,9 m³ CH₄/ton kalıntı katsayısı kullanılmıştır. Kaynağın aslında bu değerler sırasıyla 198 m³ CH₄/ton UKM ve 222,2 m³ CH₄/ton UKM verilmektedir. Katsayıların yanlış kullanımı hesaplamalarda çok farklı sonuçların elde edilmesine neden olmaktadır. İlk kaynakta hesaplamalarda toplanma oranının kullanmazken diğeri toplanma oranların kullanmıştır. Bazı çalışmalarda (Monforti vd., 2015; Scarlat vd., 2010) ve bu çalışmada bitkisel atıklardan biyogaz hesabı yapılırken toplanma oranlarını kullanılmıştır.

Hayvan gübresinden biyogaz miktarlarının hesaplanması için toplanabilir hayvan gübresi miktarları hesaplanmalıdır. Literatürde bazı çalışmalarda da (Aksay ve Tabak, 2022; Akyürek ve Coşkun, 2019; Çalışkan ve Tumen Ozdil, 2021; Özer, 2017) kullanılan aşağıdaki denklem (3.3, 3.4) ile bu miktarları hesaplanabilmektedir.

$$HTA_i = HS_i \cdot HGP_i \cdot HTO_i \quad (3.3)$$

$$HTA = \sum_{i=1}^n HTA_i \quad (3.4)$$

Burada;
HTA: Hayvan gübresi toplanabilir atık, ton/yıl
HTA_i: Her bir hayvan cinsi gübresi toplanabilir atık, ton/yıl
HS_i: Her bir hayvan cinsinin toplam sayısı, adet
HGP_i: Her bir hayvan cinsinin gübre potansiyeli, ton/adet-yıl
HTO_i: Her bir hayvan cinsi gübre toplama oranı
n: hesaplamalarda dikkate alınan hayvan cinsi sayısı

Bu çalışmada hesaplar için her hayvan gübresi için kullanılacak tipik değerler aşağıdaki Çizelge 3.6’da (Aksay ve Tabak, 2022) verilmiştir. Hayvan gübre atıklarının miktarı hesap edilirken bazı araştırmalarda daha basit yöntemler kullanılmıştır.

Örneğin bir çalışmada (Yapılcan ve Bakırtaş, 2024) daha önce literatürdeki bazı çalışmalar kaynak gösterilerek büyükbaş hayvanlar yaş sınıfı yapılmaksızın 5.47 ton/yıl-adet gübre, gübrenin kullanılabilirlik oranı %50, kuru madde oranı ise %15 sonuç olarak 1 ton büyükbaş hayvan atığından 33 m³ biyogaz elde edildiği kabul edilmiştir. Bu çalışmadaki hesapta ise küçük baş (0-1yaş) hayvanın 4,11 ton /yıl-adet gübre, toplama yüzdesi %50, KM yüzdesi%15 ve UKM yüzdesi %15 ve metan verimi 200 m³ CH₄/ton UKM ve metan yüzdesi % 60 kabul edilerek 1 ton gübreden 20 m³ biyogaz eldesi dikkate alınmıştır. Dolayısıyla yapılan çalışmalarda seçilen kabullerin de sonuçları önemli ölçüde etkilediği dikkate alınmalıdır. Aksaray için yapılan eski çalışmada bu örnekte olduğu gibi % 65 daha fazla biyogaz potansiyeli elde edilmiştir.



Çizelge 3.5. Bitkisel atıkların metan üretim potansiyeli hesabında kullanılan katsayılar.

Özellikler	Buğday	Arpa	Mısır	Yulaf	Çavdar	Ayçiçek	Ş. Panç.**
Tarım verileri							
Kalıntı(ton/dekar)	0,325	0,20	1,48	43.3	45.0	0,600	0,800
Toplama oranı, %	40	40	50	40	40	50	100
İçerikler							
KM (Kuru Madde), %	86	86	86	87.5	87.5	85	16-24
UKM (Uçucu KM),%	91.9	93.7	72	87	87	70	77,5-95
CH ₄ (Metan),%	52	52	52	52	52	52*	54,5-72,5
Metan verimi (m ³ CH ₄ /ton UKM	198	222	182	156	156	154	313-218

*Tahıl ürünlere benzer kabul edilmiştir.

** Şeker pancarının kuyruk olarak isimlendirilen (DBFZ, 2011) de pancar press keki atığı özellikleri

Çizelge 3.6. Hesaplamalarda kullanılan hayvan gübresi özellikleri.

Özellikler	0-1 yaş büyükbaş	1-2 yaş büyükbaş	>2 yaş büyük baş	Koyun	Keçi	Kümes h. (etlik piliç)	Kümes h. (yumurta)
Tarım verileri							
Birim gübre üretimi, ton/yıl-adet	4,11	9,59	13,7	0,75	0,87	0,069	0,047
Toplama oranı, %	50	50	50	13	13	99	99
İçerikler							
KM (Kuru Madde), %	15	15	15	25	30	25	25
UKM (Uçucu KM),%	80	80	80	20	20	70	70
CH ₄ (Metan),% (Çalışkan ve Tumen Ozdil, 2021)	60	60	60	45	45	60	60
Metan verimi (m ³ CH ₄ /ton UKM	200	200	200	300	300	350	350

3.3.2 Biyometan üretim miktarlarının hesaplanması

Toplanabilen tarımsal bitki atıklarından metan üretim potansiyeli literatürdeki bazı çalışmalarda (Aksay ve Tabak, 2022; Akyürek ve Coşkun, 2019; Çalışkan ve Tumen Ozdil, 2021; DBFZ, 2011; Özer, 2017) olduğu gibi aşağıdaki denklemler (3.5,3.6) ile hesaplanabilir. Buradaki değerler inşa edilecek biyoreaktörlerin tipik işletme şartlarında (çamur yaşları, sıcaklık, reaktör tipi, önışlemler vs) çalışıldığında kullanılacak değerlerdir. Hacimsel metan gazı miktarları biyogaz tesislerinin işletme sıcaklık ve basınç değerlerinde değişiklik göstereceğinden standart koşullar olarak kabul edilen 0°C (273,15 K) ve 1 atm (101,325 kPa) basınç şartları için geçerlidir. İşletme şartlarında bu miktarlar sıcaklık ve basınca göre değişse de verilen miktarlar standart şartlar için olduğundan enerji hesaplamaları standart şartlarda verilen miktarlara göre yapılmıştır.

$$BMP_i = BTA_i \cdot SMP_i \cdot \quad (3.5)$$

$$BMP = \sum_{i=1}^n BMP_i \quad (3.6)$$

Burada;

BMP_i: her bir bitki atığının yıllık biyometan potansiyeli, m³/yıl

BMP: Bitkisel atıkları yıllık biyometan potansiyeli, m³/yıl

SMP_i: Her bir bitki atığının sepesifik biyometan üretim potansiyeli, m³/ton

Toplanabilen hayvan gübrelerinden biyometan üretimi için değişik çalışmalarda (Aksay ve Tabak, 2022; Akyürek ve Coşkun, 2019; Çalışkan ve Tumen Ozdil, 2021; Özer, 2017) kullanılan kabuller ve denklemler (3.7, 3.8) aşağıdaki gibi kullanılmıştır.

$$HMP_i = HTA_i \cdot TKM_i \cdot UKM_i \cdot SMP_i \quad (3.7)$$

$$HMP = \sum_{i=1}^n HMP_i \quad (3.8)$$

Burada;

HMP_i: Her bir hayvan cinsi gübresi yıllık biyometan potansiyeli, m³ CH₄/yıl

HMP: Hayvan gübresi yıllık biyometan potansiyeli, ton/yıl

TKM_i: Her bir hayvan cinsi gübresi katı madde oranı

UKM_i: Her bir hayvan cinsi gübre uçucu katı madde oranı

SMP_i: Her bir hayvan cinsi gübresi spesifik biyometan üretim potansiyeli, m³ CH₄/ton

UKM

3.3.3 Potansiyel enerji hesabı

Her bir atık için toplam elde edilebilecek enerji miktarları her bir atık cinsi için hesaplandıktan sonra, toplam enerji miktarı aşağıdaki formüller (3.9-3.13) hesaplanmıştır.

$$BTE_i = BMP_i \cdot c \cdot \eta_{kj} \quad (3.9)$$

$$BTE = \sum_{i=1}^n BTE_i \quad (3.10)$$

Burada;

BTE_i: Her bir bitki cinsi için yıllık enerji miktarı, kWh/yıl

BTE: Bitkisel atıkların yıllık enerji potansiyeli, kWh/yıl

c: Metanın alt ısı enerji değeri, 9,94 kWh/m³ metan (Aksay ve Tabak, 2022; Ekinci vd., 2010)

η_{kj} : Bileşik ısı ve güç (kojenerasyon) enerji verim oranı, 0,90 (Aksay ve Tabak, 2022; Hakawati vd., 2017)

$$HTE_i = HMP_i \cdot c \cdot \eta_{kj} \quad (3.11)$$

$$HTE = \sum_{i=1}^n HTE_i \quad (3.12)$$

Burada;

HTE_i: Her bir hayvan cinsi gübresi için yıllık enerji miktarı, kWh/yıl

HTE: Hayvan gübresi yıllık enerji potansiyeli, kWh/yıl

$$TE = BTE + HTE \quad (3.13)$$

Burada;

TE: Toplam tarımsal atık enerji potansiyeli, kWh/yıl

1 metreküp (m³) metan gazının ısı enerji değeri yaklaşık olarak 9,94 kWh'tir. Bu değer, sıcaklık, basınç gibi koşullara ve metanın saflığına bağlı olarak küçük farklılıklar gösterebilir, ancak genellikle bu değere yakın kabul edilir. Bu değer standart koşullar olarak kabul edilen 0°C (273,15 K) ve 1 atm (101,325 kPa) basınç için geçerlidir. Bu koşullarda 1 m³ metan gazının alt ısı değeri (lower heating value - LHV) yaklaşık olarak 9,94 kWh'tir. Enerji hesaplamalarında genel yaklaşım biyogaz tesislerinde elektrik enerjisi ve ısı elde etmek olduğu için kojenerasyon sistemleri kullanılacağı varsayılmıştır. Kojenerasyon sistemlerinde genel uygulama yanma sırasında oluşan su buharı genellikle bacadan dışarı atılır ve bu buharın yoğunlaşması gerçekleşmediğinden metanın alt ısı değeri kullanılmıştır. η değeri biyogaz tesislerinde kontrollü şartlarda bu değere ulaşabilir. Biyogaz tesisinde metanın

yakılması ile elde edilen enerjinin % 40'ı elektrik ve % 50 si ise ısı enerjisi şeklinde kullanılabilir. %90 verimlilik, eğer biyogaz bir kojenerasyon sisteminde optimize edilmiş koşullarda kullanılıyorsa, mümkündür. Ancak bu durum her zaman geçerli olmayabilir; sistemin tasarımı ve atık enerjinin nasıl yönetildiği bu verimliliği belirler.

3.3.4 Biyogaz kullanımının sera gazı azaltım potansiyeli

Bu hesap yaklaşımında mevcut bazı literatürün aksine karbon nötrlüğü ilkesine uygun olarak sadece elde edilen biyogazın kömür eşdeğerine çevrilmesi ile biyogaz ile elektrik elde edilmesi yerine kömür ile elektrik enerjisi elde edilmesi durumunda açığa çıkacak CO₂ salınımı sera gazı azaltım potansiyeli olarak değerlendirilmiştir.

Biyogaz üretiminde kullanılan organik atıklar, atmosferdeki karbondioksiti fotosentez yoluyla emen biyokütlelerden (bitkiler, tarımsal atıklar, hayvan gübresi vb.) gelir. Bu biyokütle, biyogaz olarak yakıldığında CO₂ salınımı yapar, ancak bu CO₂ atmosferde zaten mevcut olan karbon döngüsüne aittir. Dolayısıyla, biyogazın yakılması sırasında atmosfere salınan karbondioksit, fosil yakıtların yakılmasıyla atmosfere eklenen karbondioksite kıyasla sera etkisine daha az katkı yapar. Bu durum, karbon nötrlüğü olarak adlandırılır ve biyokütle bazlı enerji üretiminde önemlidir. Temel mantık şu şekildedir:

Biyokütle (bitkiler vb.) atmosferdeki CO₂'yi fotosentez yoluyla emer ve büyür. Bu biyokütle biyogaza dönüştürülüp yakıldığında CO₂ açığa çıkar. Salınan bu CO₂, başlangıçta atmosferden emilen CO₂ olduğu için net karbon salınımı sıfır kabul edilir.

Ancak bu "sıfır emisyon" durumu, yalnızca biyogazın üretimi ve yakılması sürecindeki biyokütle ile atmosfer arasındaki karbon döngüsü dikkate alındığında geçerlidir.

Ancak tamamen sıfır etki için, atıkların toplanması, taşınması ve biyogaz tesisinin işletimi gibi süreçlerde kullanılan enerji kaynakları dikkate alındığında emisyonlar ortaya çıkabilir. Eğer bu işlemler fosil yakıtlara dayalı enerji kaynakları kullanılarak yapılırsa, net sera gazı salınımı sıfır olmaz.

Eğer bu süreçler de yenilenebilir enerji ile desteklenirse, biyogazın sera gazı etkisi büyük ölçüde karbon nötr olabilir veya net pozitif bir çevresel etki yaratabilir.

Sonuç olarak, biyokütle bazlı biyogaz yakıldığında ortaya çıkan CO₂, biyokütlenin büyümesi sırasında atmosferden emilen CO₂ olduğu için karbon nötr kabul edilir. Ancak biyogaz üretim sürecinde fosil yakıtlardan kaynaklanan diğer enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları varsa, bunlar dikkate alınmalıdır. Bizim çalışmamızda elde edilen biyogaz enerjisinin tamamı kömürden elde edilen elektrik ve ısı enerjisi kabul edilmiş, biyogaz tesisinin işletiminde kullanılan enerjinin de yenilenebilir enerji kaynaklarından (biyogaz, rüzgar, güneş vs.) elde edildiği varsayılmıştır. Dolayısıyla biyogaz enerjisi kullanımı atmosferdeki CO₂ nin biyokütleye dönüşümü, biyokütleden biyogaza dönüşerek tamamen karbon nötr kabul edilmiştir. Yani biyogazın yanması sonucu oluşan CO₂ biyojenik olarak kabul edilmiştir. Bu yaklaşım bazı çalışmalarda kullanılmıştır (Burg vd., 2018; Islam vd., 2021; Kaygusuz, 2002; Nguyen vd., 2024).

Bazı çalışmalarda biyogaza dönüştürülen atıkların depolanması ve toprakta kalması durumunda oluşan sera gazlarının önüne geçilmesi de sera gazına azaltımına pozitif katkı verdiği düşünülmüştür ve hesaplara dahil edilmiştir. Yine bu çalışmalarda biyogazın yakılması esnasında açığa çıkan sera gazları da sera gazı oluşumuna neden olduğu düşünülerek sera gazı azaltımında negatif etki olarak dikkate alınmıştır (Aksay ve Tabak, 2022; Liu vd., 2023; Özer, 2017; Yan vd., 2023).

Bu tez çalışmasındaki yaklaşımda atıkların toplanması ve proseste kullanımı sırasında kullanılan enerjinin tamamen yenilenebilir temiz enerjiden elde edildiği varsayılarak, biyogaz işletmeciliğinin sera gazı etkisi sıfır kabul edilmiştir. Sera etkisine neden olan fosil yakıtların çıkartılması, depolanması, taşınması ve işlenmesi sırasında ciddi derecede enerji kullanımı söz konusu olduğundan biyogaz tesisi ile elektrik ve ısı enerji faaliyetinin sera etkisi pozitif olarak değerlendirilmiştir.

Kojenerasyonla elde edilen elektrik enerjisine eşdeğer yakıt olan kömürle çalışan termik santralin neden olduğu CO₂ emisyonu aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$KA_{TA} = E_e \cdot K_{CO_2} \quad (3.14)$$

Burada;

KA_{TA}: Tarımsal atıkların biyogaza dönüştürülmesi ile sera gazı azaltımı, kg CO₂/yıl

E_e: Biyogaz tesisi ile elde edilen elektrik enerjisi, kWh/yıl

K_{CO_2} : Kömürle elektrik enerjisi elde edildiğinde CO_2 emisyonu, $kg\ CO_2/kWh$
Türkiye’de kullanılan kömürler için bu katsayısı $1\ kg\ CO_2/kWh$ kabul edilmiştir(Aksay ve Tabak, 2022; Atılgan ve Azapagic, 2016; Özer, 2017)

3.3.5 Biyogaz tesisi kurulum ve işletme maliyetleri

Aksaray ilinde yapılacak minumum 35 gün hidrolik alıkonma sürelerinde ve termofilik sıcaklıklarda işletilecek merkezi biyogaz tesisleri ile toplanan atıklardan biyogaz elde edileceği öngörülmüştür. Çürütücülerden üretilen biyogaz, elektrik ve ısı üretimi için kombine ısı ve güç sistemlerinde kullanılacaktır. Biyogaz tesislerinin ekonomik ömrünün 20 yıl olduğu varsayılmıştır. Yapılacak biyogaz tesisinin büyüklüğü 4 MW (Aksay ve Tabak, 2022) kurulu gücü olacak şekilde yeteri sayıda planlanmıştır. Bu tesislerin kurulum inşaa maliyetleri ve elde edilen gelirler için aşağıdaki Çizelgede verilen kabuller (Aksay ve Tabak, 2022; Çalışkan ve Tumen Ozdil, 2021; Murphy ve McCarthy, 2005) bazı değişikliklerle yapılmıştır.

Aksaray ilinde ihtiyaç duyulan güç tesisinin kapasitesi belirlenirken tesisin 365 gün ve 22 saat (yaklaşık 8000 saat) çalışacağı kabul edilmiştir. Dolayısıyla atıklardan elde edilecek potansiyel enerjiyi elektrik enerjisine çevirecek tesisin gücü hesaplanırken aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$BTE_{ie} = BMP_i \cdot c \cdot \eta_e \quad (3.15)$$

Burada

η_e : Elektrik enerji verim oranı, 0,40

BTE_{ie} : her bir bitki atığı için elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarı, $kWh/yıl$

$$P_{ei} = \frac{BTE_{ie}}{1000 \cdot 365 \cdot 22} \quad (3.16)$$

Burada;

1000: kW/MW dönüşüm katsayısı

365: Yıl içindeki gün sayısı, gün

22: Güç tesisinin günlük çalışma süresi, h

P_{ei} : her bir atık için gerekli kurulum gücü, MW

Yapılan hesaplamalarda elde edilen toplam yaş atık miktarı için hesaplanan toplam P_{ei} değerine bölündüğünde 4 MW gücündeki tesis için gerekli ham atık miktarı yaklaşık 180137 ton/yıl bulunmuştur. Murphy ve McCarthy (2005) tarafından yapılan bir çalışmada merkezi biyogaz tesislerinin besleyen atık miktarına göre kurulum ve işletme maliyetleri arasındaki ilişkiden aşağıdaki formül geliştirilmiştir.

$$KM_{BT} = -46,482 \cdot \ln(TA) + 620,22 \quad (3.17)$$

Burada;
KM_{BT}: ton başına kulum maliyeti, €/ton-yıl
TA: Yıllık toplam ham atık miktarı, ton/yıl

Bu denklemden 4 MW'lık tesisin 57,72 €/ton atık kurulum maliyeti elde edilmiştir.

Yine aynı çalışmada (Murphy ve McCarthy, 2005) kojenerasyon ünitesi için kurulum maliyeti için aşağıdaki formül önerilmiştir.

$$KM_{kj} = 3790,4 \cdot P_e^{-0,2} \quad (3.18)$$

Burada;
KM_{kj}: Kojenerasyon tesisi birim fiyatı, €/kW
P_e: Kojenerasyon tesisi gücü, kWe

4000 kW tesis gücü için kurulu kojenerasyon tesisi birim maliyet 721,56 €/kW olarak bulunmuştur.

Kojenerasyon ünitesi işletme maliyeti 0,01€/kWh_e (Murphy ve McCarthy, 2005) kabul edilmiştir.

Küçük ölçekli 0,5 MW lık bir biyogaz tesisindeki çalışan sayısı (Kaya vd., 2009) tarafından yapılan çalışmada 10 kişinin, 1500 €/ay ücretle çalışacağı varsayılmıştır. Bu çalışmada 4 MW'lık daha büyük tesis için 24 kişinin ortalama asgari brüt ücretin iki katı ücrete (1067 €/kişi)i çalışacağı kabul edilmiştir.

Yıllık sigorta ve vergiler toplam yatırım maliyetinin % 5-10 arası (Aksay ve Tabak, 2022; Çalışkan ve Tumen Ozdil, 2021; Kaya vd., 2009) önerilmiştir. Bu çalışmada % 7,5 kabul edilmiştir.

Tarımsal atık taşıma ve satın alma maliyeti (Aksay ve Tabak, 2022) 3-6 €/ton aralığı verilmiş, bu çalışmada 6 €/ton ham atık kabul edilmiştir.

Çizelge 3.7. Biyogaz tesisleri maliyet analizi için yapılan kabuller

Maliyetler	Yöntem
Başlangıç maliyeti	Biyogaz tesisi kurulum maliyeti: Yıllık ham atık miktarı (ton) × Birim maliyet (57,719 €/ton atık) (Murphy ve McCarthy, 2005) Kojenerasyon ünitesi kurulum maliyeti: Kurulu güç (kW) x 721,56 €/kW (Murphy ve McCarthy, 2005)
	Biyogaz reaktör sistemi kullanımı ve bakımı: Biyogaz tesisi kurulum maliyeti x 0,10 (%10) (Murphy ve McCarthy, 2005) Kojenerasyon ünitesinin kullanımı ve bakımı: 0,01 €/kWe (Murphy ve McCarthy, 2005)
Giderler	İşgücü giderleri: 24 kişi × 12 ay × 1067 € Sigorta ve vergiler: Toplam kurulum maliyeti × 0,075 (Kaya vd., 2009) Ham madde temini ve taşıma: Yıllık ham madde (ton) × 6 €/ton (Aksay ve Tabak, 2022)
	Elektrik satışı: Üretilecek yıllık elektrik miktarı (kWh/yıl) × Elektrik enerjisi satış fiyatı (0,0552 €/kWh) Kojenerasyon ısı kullanımı: Üretilecek yıllık elektrik miktarı (kWh/yıl) × ısı enerjisi birim satış fiyatı (0.0247 €/kWh)
Gelirler	Digestat katı gübre satışı: Organik katı gübre üretimi ton/yıl × 73,3 €/ton katı gübre Digestat sıvı gübre satışı: Organik katı gübre üretimi ton/yıl × 64,0 €/ton sıvı gübre Karbon ticareti: Azaltılan Karbon salınımı ton CO ₂ /yıl × Yeşil sertifika ödemesi (3,66 €/ ton CO ₂)

3.3.6 Biyogaz tesislerinden elde edilen gelirler

Katı ve sıvı gübre ve yeşil sertifika satış fiyatları çok değişken olabildiği için piyasanın güncel fiyatları dikkate alınmıştır. Sıvı digestat satışlarında genel olarak sıkıntı olsa da Aksaray ve civarı toprakları için oldukça fazla gübreye ihtiyaç tarım arazisi olacağından satışta problem olmayacağı düşünülmüştür.

Biyogaz tesisinden elde edilen elektrik enerjisi gelirinin anlık kullanım fiyatından, ısı enerjisinin ise doğalgazdan sağlanan ısı enerjisi ile aynı fiyat kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Perakende elektrik alış fiyatı dikkate alındığında Elektrik enerjisi için fiyat 0,0552 €/kWh (URL-12), ısı enerjisinin perakende alış fiyatı doğalgaz kullanımı dikkate alındığında 0,0247 €/kWh (URL-13) kabul edilmiştir. Biyogaz tesislerinde tesis çıkışında sıvı ve katı digestat elde edileceği ve bunlarında tarımda gübre olarak satışı yapılacağı kabul edilmiştir. 1 ton kuru katı atık başına 200 kg kuru ağırlıkta katı digestat tonu 73,3 €, 800 kg'da sıvı digestat tonu 64,0 € satış fiyatı piyasalarda geçerli fiyatlar dikkate alınarak kabul edilmiştir. Bu kabullere göre Biyogaz tesisinden elde edilen gelirler aşağıdaki hesaplanabilir.

$$G_{BG} = E_e \cdot F_e + E_I \cdot F_I + TA_k \cdot (0,2 \cdot F_{KD} + 0,8 \cdot F_{SD}) + KA_{TA}/1000 \cdot 3,66 \quad (3.19)$$

Burada

E_e : Elektrik enerjisi miktarı, kWh/yıl

F_e : Elektrik kullanım fiyatı, 0,0552 €/kWh

E_I : Isı enerjisi miktarı kWh/yıl

F_I : Isı enerjisi kullanım fiyatı, 0,0247 €/kWh

F_{KD} : Katı digestat satış fiyatı, 73,3 €/ton

F_{SD} : Sıvı digestat satış fiyatı, 64,0 €/ton

$F_{YŞ}$: Yeşil sertifika fiyatı, 3,66 €/ton CO₂

3.3.7 Biyogaz tesisi büyüklüğü

Merkezi sistem biyogaz tesislerinin gücü, tesisin büyüklüğüne, kullanılan biyokütle miktarına ve teknolojiye bağlı olarak değişiklik gösterir. Ancak genel olarak, ticari ölçekli bir biyogaz tesisi üretilen elektrik dikkate alınarak şu aralıklarda olabilir:

Küçük ölçekli tesisler: 0.5 MW ile 1 MW arasında güç üretir. Bu tür tesisler genellikle daha küçük çiftlikler, belediyeler veya endüstriyel işletmeler için tasarlanır ve daha az miktarda organik atık kullanır.

Orta ölçekli tesisler: 1 MW ile 5 MW arasında güç üretir. Orta ölçekli biyogaz tesisleri, genellikle birden fazla kaynak (tarımsal atık, hayvan gübresi, gıda atıkları vb.) kullanarak enerji üretir ve daha geniş çaplı üretim hedefleri vardır.

Büyük ölçekli (Merkezi) tesisler: 5 MW ve üzeri güç üretir. Bu tesisler, geniş tarım alanları, büyük belediyeler veya birden fazla kaynaktan biyokütle toplayan merkezi sistemlerle çalışır. Enerji üretimi genellikle bölgesel elektrik şebekelerine önemli bir katkı sağlar. Bazı merkezi biyogaz tesisleri, 10 MW veya daha büyük kapasitelere ulaşabilir. Özellikle organik atıkların büyük çapta toplanabildiği ve işlenebildiği bölgelerde bu kapasite artabilir.

Tesisin boyutu, kullanılan teknolojiler, biyokütlenin metan verimliliği ve işlem gören atık miktarı gibi faktörler de gücü doğrudan etkileyen unsurlardır.

Bizim çalışmamızda da yapılacak biyogaz tesislerinin gücü 4 MW orta ölçekli bir biyogaz tesis olarak belirlenmiştir. Özellikle ilk kurulum maliyeti hesabında bu büyüklükteki bir tesisin kW başına kurulum maliyeti dikkate alınmıştır. Genel olarak tesisin büyüklüğü arttıkça kurulum maliyeti azalmakta ancak hammadde temini zor olduğundan işletimi zor olmaktadır. Bu nedenle Aksaray ili düşünüldüğünde yapılacak tesislerin çalışma süresince (yaklaşık 8000 saat) 4MW gücünde elektrik üreteceği dikkate alınmıştır.

3.3.8 Biyogaz tesisi yatırımının ekonomik fizibilitesi

Temel bazı göstergeler bakılarak bir yatırımın ekonomik olup olmadığı değerlendirilmektedir. Biyogaz yakıtlı bir güç tesisinde temel amaç elektrik enerjisi üretimidir. Üretilen elektrik enerjisi ülkemizde şu an desteklenmekle birlikte buradaki değerlendirilmede bu desteklemenin geleceği ne olacağı bilinmediği için dikkate alınmamıştır. Biyogaz işletmeciliğinde yatırım süresi 20 yıl olarak dikkate alınabilir. Biyogaz tesislerinin ekonomik uygulanabilirliği, net bugünkü değer (NBD), iç getiri oranı (İGO), fayda-maliyet (F/M) oranı ve geri ödeme süresi (GÖS) gibi yatırım değerlendirme teknikleri yoluyla incelenebilir (Ekinci vd., 2010). Parasal değerleri açısından ifade edilmesi zor olan sosyal faydaların burada yapılan analize dahil edilmediğine dikkat edilmelidir. Nihai karar verilirken sosyal faydalarında göz önüne alınması gerekmektedir.

NBD, bir yatırımın gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerinin toplamının (BD), yatırımın başlangıç maliyeti ile kıyaslayan bir hesaplama yöntemidir. NBD, bir yatırımın kârlı olup olmadığını değerlendirmek için kullanılır ve genellikle projelerin veya yatırımların finansal analizlerinde önemli bir rol oynar. Pozitif NBD: yatırımın getirisinin maliyetini aştığı ve kârlı olduğu anlamına gelir. NPD belirlenen yılda negatif ise, yatırımın getirisinin maliyetin altında olduğu ve kârlı olmayacağı anlamına gelir. NBD değeri aşağıdaki formülle (3.20) hesaplanabilir (Ekinci vd., 2010).

$$BD = \sum_{t=0}^n \frac{NA_t}{(1+i)^t} \quad (3.20)$$

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{NA_t}{(1+i)^t} - BM \quad (3.21)$$

Burada;
 BD: Bugünkü değer, €
 NBD: Net bugünkü değer, €
 BM: Başlangıç maliyeti, €
 NA: Her yıl net nakit akışı, €/yıl
 i: iskonto oranı (0,10)
 t: nakit akışı zamanı yılı, yıl
 n: Proje sonu , yıl

Her yıl nakit akış miktarı aynı ise herhangi bir yıldaki BD değerini aşağıdaki Anuite formülü ile de kolayca bulunabilir. Bu çaplı büyük bir yatırımın aynı anda başlatılması zor olduğundan her yıl NA değerleri aynı olmadığından bu formül uygulanamaz, her yıl için BD değerleri ayrı hesaplanmalıdır. Bizim çalışmamızda tüm yatırımın aynı anda başladığı, gelir ve giderlerin hep aynı olduğu kabul edildiği için BD değerleri bu formülle hesaplanmıştır.

Herhangi bir yıldaki mevcut değer için;

$$BD = \sum_{t=0}^n \frac{NA_t \cdot (1 - \frac{1}{(1+i)^n})}{i} \quad (3.22)$$

Türkiye’de biyogaz tesisleri için iskonto oranı projenin risk profiline ve finansman yapısına bağlı olarak genellikle %10-15 aralığında olabilir. Bu oran, biyogaz tesisinin ölçeği, hammadde tedarik zinciri, devlet teşvikleri ve uzun vadeli enerji satış anlaşmalarına bağlı olarak artabilir veya azalabilir.

İGO bir yatırımın veya projenin beklenen nakit akışlarının bugünkü değerini, başlangıçtaki yatırım maliyetine eşitleyen iskonto oranıdır. Başka bir deyişle, İGO bir yatırımın beklenen getiri oranını gösterir ve yatırımın gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerini hesaplayarak elde edilir. İGO yatırımın karlılığını değerlendirmek için kullanılan önemli bir ölçüttür. İGO bulmak için genellikle finansal hesap makineleri veya yazılımlar kullanılır, çünkü analitik olarak deneme yanılma (iteratif) bir süreç gerektirir. Ancak genel bir İGO denklemi şu şekildedir:

İGO aşağıdaki denklemle (3.23) bulunabilir.

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{NA_t}{(1 + İGO)^t} - BM = 0 \quad (3.23)$$

Biyogaz işletmeciliğinde yatırım süresi 20 yıl (Ekinci vd., 2010) olarak dikkate alınabilir.

F/M oranı, bir yatırımın veya projenin finansal açıdan ne kadar kârlı olduğunu değerlendirmek için kullanılan bir metriktir. F/M, bir projenin sağlayacağı toplam faydanın (getirilerin) maliyetine oranıdır. $F/M > 1$ ise projenin getirileri maliyetlerinden daha fazla, yani yatırım kârlı. Bu durumda proje genellikle yapılabilir. $F/M < 1$: Projenin maliyetleri getirilerinden daha fazladır. Bu durumda proje zarar edecek veya kârlı olmayacak demektir. F/M aşağıdaki denklemle bulunabilir.

$$\frac{F}{M} = \frac{FMD}{MMD} \quad (3.24)$$

Burada;
F/M fayda maliyet oranı
FMD: Fayda mevcut değeri (€)
MMD: Maliyet mevcut değeri (€)

GÖS bir yatırımın geri dönüşünü ne kadar sürede sağladığını gösteren bir ölçüttür. Yani, yapılan yatırımın maliyetinin ne kadar sürede yatırımın getirdiği nakit akışlarıyla

geri kazanılacağını hesaplar. GÖS, yatırım kararlarında risk değerlendirmesi için kullanılır, çünkü yatırımın geri ödenme süresinin kısa olması, yatırımın daha az risk taşıdığı anlamına gelir. GÖS aşağıdaki denklemle bulunur.

$$GÖS = \frac{BY}{YG} \quad (3.25)$$

Burada;
GÖS: Geri ödeme süresi, yıl
BY: Başlangıç yatırım, €
YG: Yıllık getiri (yıllık net akış), €/yıl

3.3.9 Yenilenebilir enerji destekleri

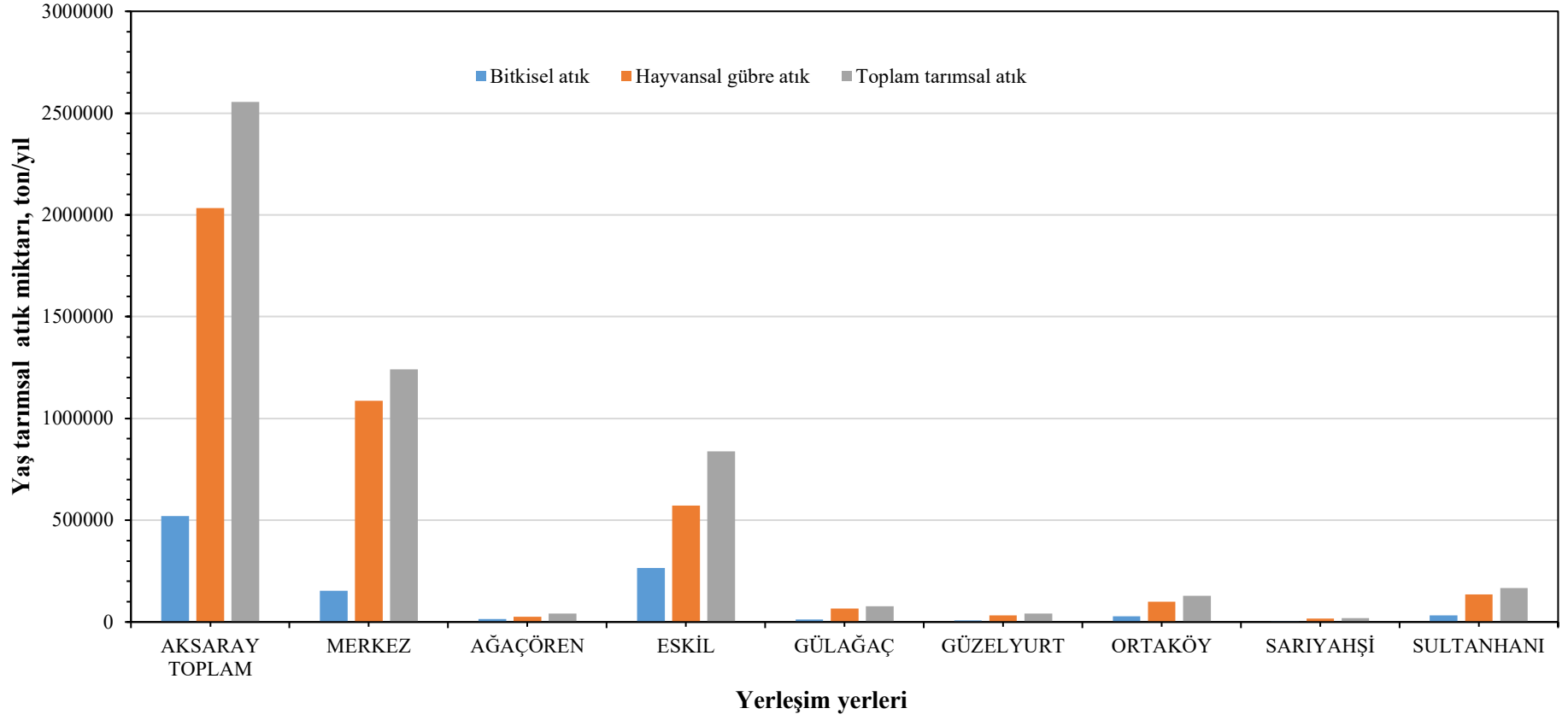
Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik, yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM) kapsamında devlet desteklidir. 10 Mayıs 2005 tarihli ve 5346 sayılı "Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun" ile yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten tesislere belirli sürelerle garanti edilmiş alım fiyatları sağlar. Alım fiyatları, Resmi Gazete’de yayımlanan Cumhurbaşkanlığı Kararnameleri ile güncellenir. Özellikle, 01.07.2021-31.12.2030 tarihleri arasında işletmeye girecek YEK belgeli yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesisleri için, bu fiyatlar TL bazında belirlenmiş olup, EPIAŞ (Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.) tarafından her yıl güncellenmektedir. 2024 yılı için yerli üretim ekipman kullanan biyogaz tesisleri için uygulanan alım fiyatı, 258,74 TL/kWh temel alım fiyatına ek olarak 43,08 TL/kWh yerli aksam desteği ile toplamda 301,82 TL/kWh seviyesindedir (EA, 2024). Bu değer günlük efektif Euro kuruna çevrildiğinde yaklaşık 8,80 €/kWh’ a karşılık gelmektedir. Geçmiş 2005-2020 yılları Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında, dolar bazlı teşvik sistemi döneminde uygulanan bir elektrik alım fiyatı 13,3 dolar olarak uygulanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Aksaray ve İlçelerin Tarımsal Atık Potansiyeli

Aksaray Merkez ilçe dahil ilçe düzeyinde ekili bitkisel ürün çeşitleri ve ekili dekarları ile yetiştirilen hayvan türü ve sayıları en güncel verileri Aksaray İli Tarım ve Orman İl Müdürlüğünden temin edilmiştir. Hesaplamalarda bu veriler kullanılmıştır. Atıklar hayvan yetiştirilen çiftlikler toplanabilecek gübreler ve ekili alanlardan bitkisel atıklar ham haliyle toplanacağı için atığın kütlesi ifade edilirken ham hali dikkate alınmıştır. Buna göre ilçelerin ham hayvansal gübre ve bitkisel atık miktarları ile toplam tarımsal atık miktarları şekilde verilmektedir. Hayvan gübreleri KM oranı daha düşük olurken, bitkisel atıklar hasat sonrası toplandığından su oranı düşük dolayısıyla KM oranları daha yüksektir. Örneğin 1 ton buğday sapı 0,85 ton KM içerirken, toplanabilen 1 ton büyükbaş hayvan gübresi 0,15 ton KM içermektedir. Atıklarda ton hesabı yapılırken KM, UKM, % nem miktarları dikkate alınarak işlem yapılmalıdır. Sahadan toplanan atık miktarından bahsedilirken ham hali ile toplama ve taşıma yapıldığından yaş hali dikkate alınmalıdır. Metan ve enerji hesabı yapılırken atığın UKM kütlesi başına metan değerleri literatürde ve deneysel sonuçlarda verildiğinden UKM kütleleri kullanılmalıdır. Aksaray ili için yapılan hesaplamalar genel olarak ayrıntılı bir şekilde Ek 1’de verilmektedir.

Aksaray ilinin toplanabilen yaş tarımsal atık miktarları Şekil 4.1’de verilmektedir. Aksaray’ın tarım atık potansiyelinin Merkez, Eskil ve Sultanhanı ilçelerinde olduğu açıkça görülmektedir. Bu bölgelerde yoğun şekilde tarım ve hayvancılık faaliyetleri yapılmaktadır.



Şekil 4.1. 2024 yılı yaş tarımsal atık miktarları.

4.2 İlçelerin Potansiyel Atık, Metan ve Enerji Miktarları

4.2.1 Merkez ilçe

Aksaray İli, Merkez ilçesine ait hayvan sayıları, hayvansal atık miktarları, hayvansal atık kaynaklı biyogaz üretim potansiyeli, hayvansal atık kaynaklı enerji değerleri ve hayvansal atık kaynaklı elektrik değerleri ve buğday, arpa, mısır, yulaf, çavdar, ayçiçek, şekerpancarı bitkileri için tarımsal üretim alanı, tarımsal atık miktarı, tarımsal atık kaynaklı biyogaz üretim potansiyeli, tarımsal atık kaynaklı enerji değerleri ve tarımsal atık kaynaklı elektrik değerleri aşağıdaki Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Merkez ilçe atık, metan, enerji ve elektrik potansiyelleri.

Atık cinsi	Toplanabilir atık miktarı (ton/yıl)	Biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)	Enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)	Elektrik üretim potansiyeli (kWh/yıl)
Büyükbaş	1.016.891	40.706.427	218.495.814	97.109.250
Küçükbaş	58.657	2.311.424	9.305.097	4.135.598
Kümes	10.509	1.072.845	5.758.598	2.559.376
Toplam	1.086.827	44.090.694	233.559.510	103.804.227
Buğday	30.210	9.091.276	42.291.891	18.796.396
Arpa	48.122	10.989.770	51.12.533	22.721.570
Mısır	54.553	11.822.82	54.998.869	24.443.942
Yulaf	-	-	-	-
Çavdar	17.058	5.868.395	27.299.304	12.133.024
Ayçiçek	911	160.456	746.429	331.476
Ş.pancarı	144.033	9.874.528	64.044.707	284.643.314
Toplam	1.655.015	47.807.258	240.504.732	106.809.992
Toplam biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)				
91.897.952				
Toplam enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)				
474.064.243				
Toplam Elektrik Üretim Potansiyeli (kWh/yıl)				
210.695.219				

Aksaray ili, Merkez ilçesinde 909.950 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan toplanabilir atık miktarı 1.086.827 ton/yıl’dır. Bu atıklardan üretililecek biyogaz miktarı 44.090.694 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 233.559.510 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 103.804.227 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Merkez ilçede ekimi yapılan buğday, arpa, mısır, çavdar, ayçiçek, şekerpancarı bitkilerinden kaynaklı ise toplanabilir atık miktarı 1.655.015 ton/yıl’dır. Bu atıklardan üretililecek biyogaz miktarı 47.807.258 m³ CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli

240.504.732 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 106.809.992 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Hayvansal kaynaklı ve bitkisel kaynaklı tarımsal atıklar beraber hesaplandığında üretilebilecek biyogaz miktarı 91.897.952 m³ CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 474.064.243 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 210.695.219 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Merkez ilçenin toplamda 26 MW gücünde biyogaz tesisi çalıştırma kapasitesi olduğu ve bu durumda 210.695 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı yapacağı hesaplanmıştır.

4.2.2 Ağaçören

Ağaçören ilçesi için yapılan hesapların özetleri Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Ağaçören ilçesi.

Atık cinsi	Toplanabilir atık miktarı (ton/yıl)	Biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)	Enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)	Elektrik üretim potansiyeli (kWh/yıl)
Büyükbaş	24.066	962.671	5.167.236	2.296.549
Küçükbaş	2861	111.862	450.326	200.145
Kümes	0	0	0	0
Toplam	26.928	1.745.535	5.617.563	2.496.695
Buğday	3417	1.117.702	5.199.458	2.310.870
Arpa	9445	2.156.904	10.033.745	4.459.442
Mısır	0	0	0	0
Yulaf	0	0	0	0
Çavdar	59	20377	94.794	42.131
Ayçiçek	141	24877	1.115.725	51.434
Ş.pancarı	1000	68557	444.652	197.623
Toplam	14.359	3.388.417	15.888.375	7.061.500
Toplam biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)				
4.462.952				
Toplam enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)				
21.505.937				
Toplam Elektrik Üretim Potansiyeli (kWh/yıl)				
9.558.194				

Aksaray ili, Ağaçören ilçesinde 30.432 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan toplanabilir atık miktarı 26.928 ton/yıl’dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 1.745.535 m³ CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 5.617.563 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 2.496.695 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Ağaçören ilçesinde ekimi yapılan buğday, arpa, çavdar, ayçiçek, şekerpancarı bitkilerinden kaynaklı ise toplanabilir atık miktarı 14.359 ton/yıl'dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 3.388.417 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 15.888.375 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 7.061.500 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Hayvansal ve bitkisel kaynaklı tarımsal atıklar beraber hesaplandığında üretilebilecek biyogaz miktarı 4.462.952 m³ CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 21.505.937 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 9.558.194 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Ağaçören ilçesinin toplamda 1.19 MW gücünde biyogaz tesisi çalıştırma kapasitesi olduğu ve bu durumda 9.558 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı yapacağı hesaplanmıştır.

4.2.3 Eskil

Eskil ilçesi için yapılan hesapların özetleri Çizelge 4.3'de verilmektedir.

Çizelge 4.3. Eski ilçesi.

Atık cinsi	Toplanabilir atık miktarı (ton/yıl)	Biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)	Enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)	Elektrik üretim potansiyeli (kWh/yıl)
Büyükbaş	548.568	21.942.742	117.779.861	52.346.605
Küçükbaş	22.530	898.337	3.616.438	1.607.305
Kümes	266	27.195	145.976	64.88
Toplam	571.366	22.868.276	121.542.277	54.018.790
Buğday	35.055	10.549.247	49.074.253	21.810.779
Arpa	10.926	24.951.160	11.607.285	51.158.793
Mısır	203.070	44.009.280	204.727.650	90.990.067
Yulaf	20	4521	21.029	9346
Çavdar	31	10.801	50.244	22.331
Ayçiçek	13.588	2.394.404	11.138.575	4.950.478
Ş.pancarı	240.000	16.453.738	106.716.476	47.429.545
Toplam	502.690	75.917.150	383.335.512	170.371.339
Toplam biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)				
98.785.426				
Toplam enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)				
504.877.789				
Toplam Elektrik Üretim Potansiyeli (kWh/yıl)				
224.390.128				

Aksaray ili, Eski ilçesinde 302.409 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan toplanabilir atık miktarı 571.366 ton/yıl'dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz

miktarı 22.868.276 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 121.542.277 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 54.018.790 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Eskil ilçesinde ekimi yapılan buğday, arpa, çavdar, yulaf, mısır, ayçiçek, şekerpancarı bitkilerinden kaynaklı ise toplanabilir atık miktarı 502.690 ton/yıl'dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 75.917.150 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 383.335.512 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 170.371.339 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Hayvansal ve bitkisel kaynaklı tarımsal atıklar beraber hesaplandığında üretilebilecek biyogaz miktarı 98.785.426 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 504.877.789 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 224.390.128 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Eskil ilçesinin toplamda 28 MW gücünde biyogaz tesisi çalıştırma kapasitesi olduğu ve bu durumda 224.390 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı yapacağı hesaplanmıştır.

4.2.4 Gülağaç

Gülağaç ilçesi için yapılan hesaplamalar Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Gülağaç ilçesi. Aksaray ili, Gülağaç ilçesinde 57.656 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan toplanabilir atık miktarı 65.297 ton/yıl'dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 2.681.971 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 14.221.465 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 6.320.651 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Gülağaç ilçesinde ekimi yapılan buğday, arpa, çavdar, mısır, şekerpancarı bitkilerinden kaynaklı toplanabilir atık miktarı 24.244 ton/yıl'dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 3.994.306 m³ CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 20.152.811 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 8.956.805 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Hayvansal kaynaklı ve tarımsal kaynaklı atıklar beraber hesaplandığında üretilebilecek biyogaz miktarı 6.676.278 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 34.374.276 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 15.277.456 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Gülağaç ilçesinin toplamda 1.908 MW gücünde

biyogaz tesisi çalıştırma kapasitesi olduğu ve bu durumda 15.277 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı yapacağı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Gülağaç ilçesi.

Atık cinsi	Toplanabilir atık miktarı (ton/yıl)	Biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)	Enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)	Elektrik üretim potansiyeli (kWh/yıl)
Büyükbaş	60.856	2.434.243	13.066.044	5.807.131
Küçükbaş	3286	129.878	522.853	232.379
Kümes	1154	117.848	632.566	281.140
Toplam	65.297	2.681.971	14.221.465	6.320.651
Buğday	5419	1.630.834	7.586.511	3.371.783
Arpa	4558	1.040.868	4.842.035	2.152.015
Mısır	1119	242.424	1.127.737	501.216
Yulaf	0	0	0	0
Çavdar	649	223.215	1.038.378	461.502
Ayçiçek	0	0	0	0
Ş.pancarı	12500	856.966	5.558.150	2.470.289
Toplam	24.244	3.994.306	20.152.811	8.956.805
Toplam biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)				
6.676.278				
Toplam enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)				
34.374.276				
Toplam Elektrik Üretim Potansiyeli (kWh/yıl)				
15.277.456				

4.2.5 Güzelyurt

Yapılan hesaplamalar aşağıda Çizelge 4.5'te verilmektedir. Aksaray ili, Güzelyurt ilçesinde 34.672 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan toplanabilir atık miktarı 33.143 ton/yıl'dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 1.349.363 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli.108.425 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 3.159.300 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Güzelyurt ilçesinde ekimi yapılan buğday, arpa, mısır, çavdar, mısır, şekerpancarı bitkilerinden kaynaklı ise toplanabilir atık miktarı 8676 ton/yıl'dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 2.316.016 m³ CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 10.782.302 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 4.792.134 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Hayvansal ve bitkisel kaynaklı tarımsal kaynaklı atıklar beraber hesaplandığında üretilebilecek biyogaz miktarı 3.665.379 m³ CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli

17.890.727 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 7.951.434 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Güzelyurt ilçesinin toplamda 0.990 MW gücünde biyogaz tesisi çalıştırma kapasitesi olduğu ve bu durumda 7951 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı yapacağı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Güzelyurt ilçesi.

Atık cinsi	Toplanabilir atık miktarı (ton/yıl)	Biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)	Enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)	Elektrik üretim potansiyeli (kWh/yıl)
Büyükbaş	30.183	1.207.353	6.480.591	2.880.262
Küçükbaş	2549	100.170	403.254	179.224
Kümes	410	41.840	224.580	99.813
Toplam	33.143	1.349.363	7.108.425	3.159.300
Buğday	2577	777.659	3.608.301	1.603.689
Arpa	3611	824.760	3.836.718	1.705.208
Mısır	955	206.993	962.914	427.962
Yulaf	0	0	0	0
Çavdar	1465	504.034	2.344.725	1.042.100
Ayçiçek	0	0	0	0
Ş.pancarı	67	4570	29.643	13.175
Toplam	8676	2.316.016	10.782.302	4.792.134
		Toplam biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)		
		3.665.379		
		Toplam enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)		
		17.890.727		
		Toplam Elektrik Üretim Potansiyeli (kWh/yıl)		
		7.951.434		

4.2.6 Ortaköy

Aksaray Merkez ilçeden sonra en kalabalık nüfusa sahip ilesi için yapılan hesaplamalar Çizelge 4.6’da verilmiştir. Aksaray ili, Ortaköy ilçesinde 89.402 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan toplanabilir atık miktarı 10.437 ton/yıl’dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 4.055.591 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 21.405.072 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 9.513.365 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Ortaköy ilçesinde ekimi yapılan buğday, arpa, mısır, çavdar, ayçiçek, şekerpancarı bitkilerinden kaynaklı ise toplanabilir atık miktarı 31861 ton/yıl’dır. Bu atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 6.875.415 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 32.444.888 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 14.419.951 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Hayvansal ve bitkisel kaynaklı tarımsal atıklar beraber hesaplandığında üretililecek biyogaz miktarı 10.931.006 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 53.849.960 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 23.933.316 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Ortaköy ilçesinin toplamda 3 MW gücünde biyogaz tesisi çalıştırma kapasitesi olduğu ve bu durumda 23.933 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı yapacağı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. Ortaköy ilçesi.

Atık cinsi	Toplanabilir atık miktarı (ton/yıl)	Biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)	Enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)	Elektrik üretim potansiyeli (kWh/yıl)
Büyükbaş	92.870	3.174.809	19.939.613	8.862.050
Küçükbaş	6883	21.048	1.091.158	484.959
Kümes	683	69.733	374.300	166.355
Toplam	100.437	4.055.591	21.405.072	9.513.365
Buğday	2592	780.162	3.629.252	1.613.001
Arpa	21.979	5.019.552	23.350.554	10.378.024
Mısır	2943	637.762	2.966.816	1.318.585
Yulaf	0	0	0	0
Çavdar	398	136.809	636.425	282.856
Ayçiçek	282	49.754	231.451	102.867
Ş.pancarı	3667	251.337	1.630.391	724.618
Toplam	31.861	6.875.415	32.444.888	14.419.951
Toplam biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)				
10.931.006				
Toplam enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)				
53.849.960				
Toplam Elektrik Üretim Potansiyeli (kWh/yıl)				
23.933.316				

4.2.7 Sarıyahşi

Sarıyahşi ilçesi için yapılan hesaplamalar Çizelge 4.7’de verilmektedir. Aksaray ili, Sarıyahşi ilçesinde 17.666 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan toplanabilir atık miktarı 2614 ton/yıl’dır. Bu atıklardan üretililecek biyogaz miktarı 630.619 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 3.295.591 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 91.464.707 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Sarıyahşi ilçesinde ekimi yapılan buğday, arpa, ayçiçek, şekerpancarı bitkilerinden kaynaklı ise toplanabilir atık miktarı 37.770 ton/yıl’dır. Bu atıklardan üretililecek biyogaz miktarı 1.756.079 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 9.404.375 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 4,179.722 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Hayvansal ve bitkisel kaynaklı tarımsal atıklar beraber hesaplandığında üretililecek biyogaz miktarı 2.386.699 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 12.699.966 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 5.644.429 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Sarıyahşi ilçesinin toplamda 0.703 MW gücünde biyogaz tesisi çalıştırma kapasitesi olduğu ve bu durumda 5644 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı yapacağı hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Sarıyahşi ilçesi hesaplamalar.

Atık cinsi	Toplanabilir atık miktarı (ton/yıl)	Biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)	Enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)	Elektrik üretim potansiyeli (kWh/yıl)
Büyükbaş	14.101	546.056	3.027.629	1.345.612
Küçükbaş	1688	66.562	267.691	119.094
Kümes	0	0	0	0
Toplam	25.789	630.619	3.295.591	1.464.707
Buğday	2147	645.956	3.004.978	1.335.546
Arpa	1893	432.216	2.010.634	893.615
Mısır	0	0	0	0
Yulaf	0	0	0	0
Çavdar	0	0	0	0
Ayçiçek	25	4353	20.252	9001
Ş.pancarı	9333	673.545	4.368.511	1.941.560
Toplam	13.397	1.756.079	9.404.375	4.179.722
Toplam biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)				
2.386.699				
Toplam enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)				
12.699.966				
Toplam Elektrik Üretim Potansiyeli (kWh/yıl)				
5.644.429				

4.2.8 Sultanhanı

Tarım ve hayvancılığın yoğun olarak yapıldığı ilçelerden biri olan Sultanhanı ilçesi için yapılan hesaplamalar Çizelge 4.8’de verilmektedir.

Aksaray ili, Sultanhanı ilçesinde 91.518 adet hayvan bulunmaktadır. Bu hayvanlardan toplanabilir atık miktarı 134.405 ton/yıl’dır. Bu atıklardan üretililecek biyogaz miktarı 5.385.876 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 28.516.379 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 12.673.946 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Sultanhanı ilçesinde ekimi yapılan buğday, arpa, mısır, yulaf, çavdar, ayçiçek, şekerpancarı bitkilerinden kaynaklı ise toplanabilir atık miktarı 111.133 ton/yıl’dır. Bu

atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı 12.982.782 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 70.243.650 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 31.219.400 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

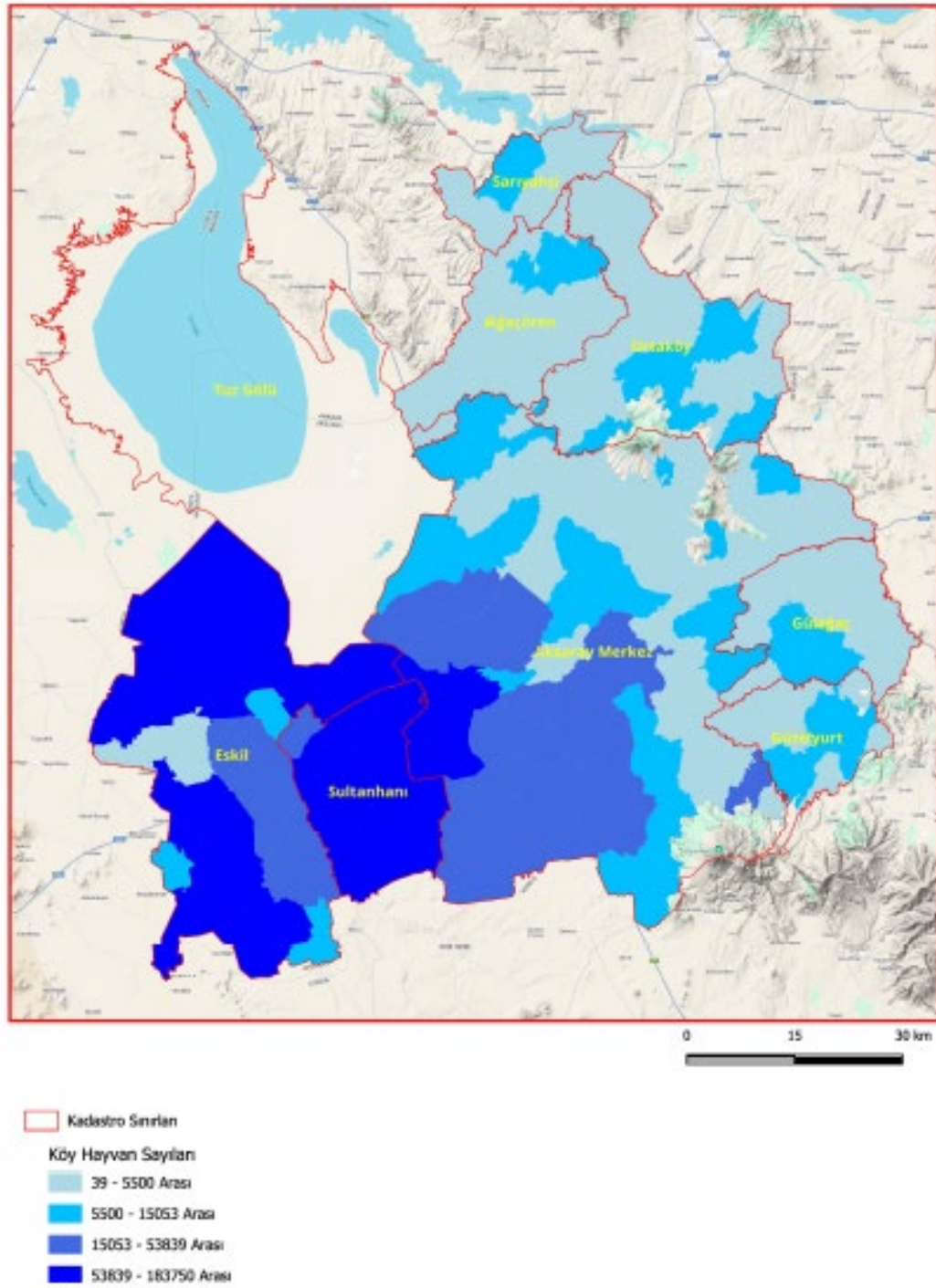
Çizelge 4.8. Sultanhanı ilçesi için yapılan hesaplamalar.

Atık cinsi	Toplanabilir atık miktarı (ton/yıl)	Biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)	Enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)	Elektrik üretim potansiyeli (kWh/yıl)
Büyükbaş	126.907	5.076.310	27.247.632	12.110.058
Küçükbaş	7332	292.754	1.178.540	523.975
Kümes	165	16.806	90.206	40.092
Toplam	134.405	5.385.876	28.516.379	12.673.946
Buğday	4308	1.296.479	6.031.118	2.680.497
Arpa	7017	1.602.540	7.454.888	3.313.284
Mısır	19.016	4.121.208	19.171.530	8.520.680
Yulaf	20	4521	21.029	9346
Çavdar	942	324.022	1.507.324	669.922
Ayçiçek	1496	263.695	1.226.690	545.195
Ş.pancarı	78.333	5.370.317	34.831.072	15.480.476
Toplam	111.133	12.982.782	70.243.650	31.219.400
Toplam biyogaz potansiyeli (m ³ CH ₄ /yıl)				
18.368.658				
Toplam enerji üretim potansiyeli (kWh/yıl)				
98.760.030				
Toplam Elektrik Üretim Potansiyeli (kWh/yıl)				
43.893.346				

Hayvansal ve bitkisel kaynaklı tarımsal atıklar beraber hesaplandığında üretilebilecek biyogaz miktarı 18.368.658 m³CH₄/yıl, enerji üretim potansiyeli 98.760.030 kWh/yıl, elektrik üretim potansiyeli ise 43.893.346 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Bu veriler ışığında Sultanhanı ilçesinin toplamda 5 MW gücünde biyogaz tesisi çalıştırma kapasitesi olduğu ve bu durumda 43.893 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı yapacağı hesaplanmıştır.

4.3 Aksaray İlinin Genel Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Aksaray il haritası üzerinde Mahalle/köy bazında girilen hayvan sayıları ile hazırlanan harita aşağıda verilmektedir.

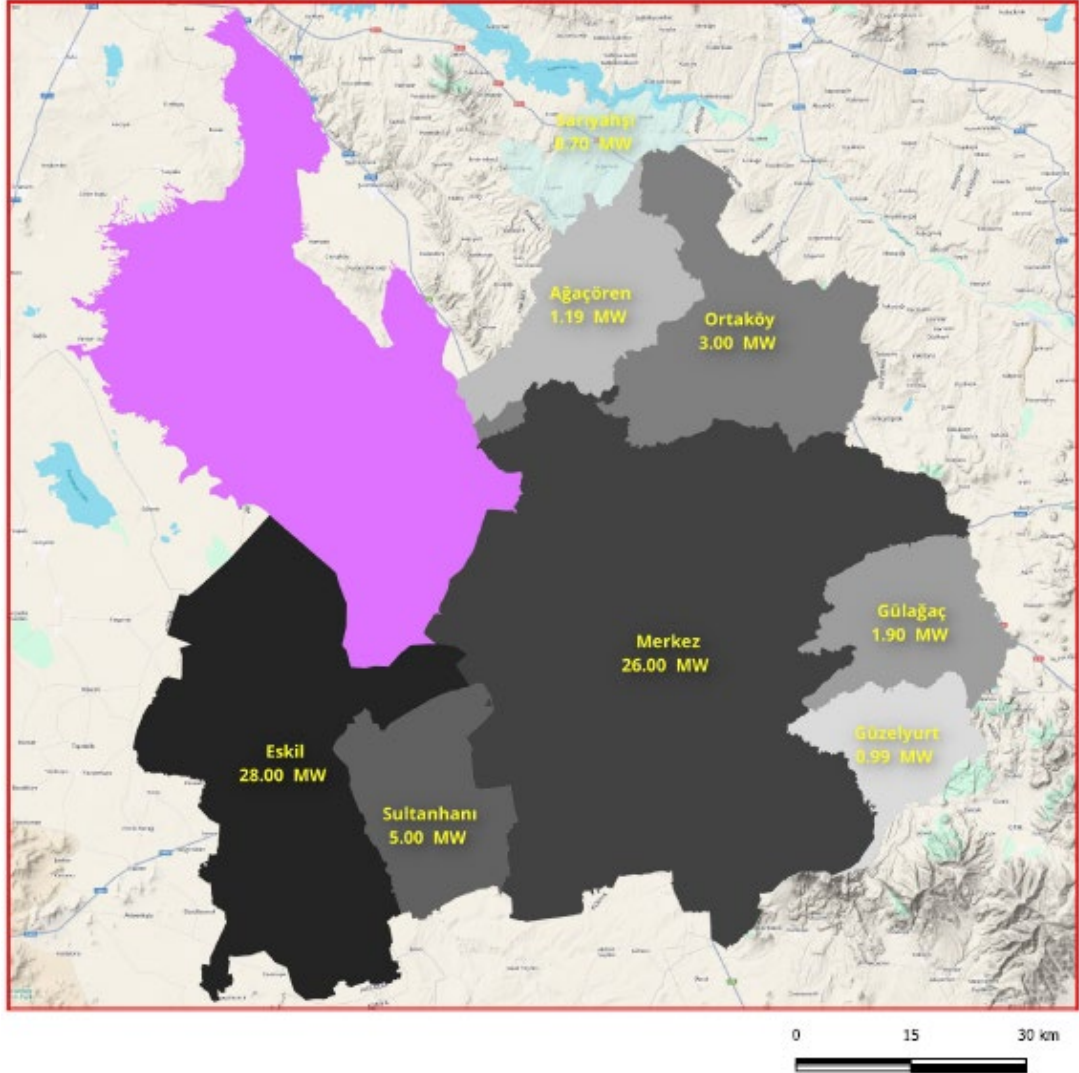


Şekil 4.2. Aksaray ili hayvan miktarları.

Görselden görüleceği üzere hayvancılığın Sultanhanı ve Eskişehir ilçelerinde 50000 üzerinde hayvan sayısı bulunmaktadır. Bu bölgelerde yoğun bir şekilde hayvancılık yapılmaktadır.

Toplanabilen atıkların ilçeler bazında hesaplanan miktarlarından biyometan değerleri hesaplandıktan sonra, buradan elde edilebilecek elektrik enerjisini üretebilecek güç

tesisleri aşağıdaki Şekil 4.3’de ilçeler bazında gösterilmektedir. En büyük potansiyelin Eskişehir ilçesinde olduğu (28 MW) görülmektedir. Bu potansiyelin 21,2 MW ı bitkisel atıklardan kaynaklanmaktadır. Eskişehir ilçesinde özellikle bitkisel üretimin fazla olması bu bölge ve civarında elektrik üretim potansiyelini artırmaktadır.



Şekil 4.3. İlçelerin elektrik üretecek güç potansiyeli.

Tarım yoğunluğu, mülkiyet durumları ve atık toplama mesafeleri dikkate alındığında Aksaray ili için önerilen tesislerin yaklaşık 4 MW büyüklüğünde 16 adet tesisin yeri Şekil 4.4’ te verilmektedir.

Aksaray ili ve ilçeleri için en güncel veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda hayvansal yaş atık miktarı toplamı 2 034 192.60 ton olup, bu miktarın 1 915 215,48 tonu büyükbaş hayvanlardan, 105 789,19 tonu küçükbaş hayvanlardan ve 13 187,93 tonu ise kanatlı hayvanlardan elde edilebilmektedir. En fazla atık miktarı Merkez,

Eskil ve Sultanhanı ilçelerinde olmaktadır. En az atık ise; Sarıyahşi, Ağaçören ve Güzelyurt ilçelerinde olmaktadır.



Şekil 4.4. Planlanan tesislerin yeri.

Aksaray ili ve ilçeleri için en güncel veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli $82.136.925 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{yıl}$ olup, en fazla biyogaz potansiyeli miktarı Merkez, Eski, Sultanhanı ilçelerinde olmaktadır. En az biyogaz potansiyeli miktarı ise; Sarıyahşi, Ağaçören ve Güzelyurt ilçelerinde olmaktadır.

Aksaray ili ve ilçeleri için en güncel veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda Aksaray ilinde yetiştirilen buğday, arpa, mısır, yulaf, çavdar, ayçiçek, şekerpancarı bitkilerinden kaynaklı atık miktarı toplamı $1.001.247 \text{ ton}$ olup, bu atıkların en fazla

Eskil, Merkez, Sultanhanı ilçelerinde olmaktadır. Yapılan hesaplamalarda bitkisel atık kaynaklı biyogaz potansiyeli 155.003.747925 m³ CH₄/yıl olup, en fazla biyogaz potansiyeli miktarı en fazla Eskil, Merkez, Sultanhanı ilçelerinde olmaktadır. En az biyogaz potansiyeli ise Sarıyahşi, Güzelyurt, Ağaçören ilçelerinde olmaktadır.

Aksaray ili ve ilçeleri için en güncel veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda; il genelinde toplam atık miktarı 3 035 440 ton, bu veri doğrultusunda biyogaz potansiyeli 237 140 672 m³ CH₄/yıl, elektrik üretim potansiyeli 541 246 445 kWh/yıl ve ısı enerjisi potansiyeli 676 558 057 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen biyogazın elektrik üretim amaçlı kullanılması halinde Aksaray ilinde biyogaz tesisi planlandığında kurulu güç potansiyeli 67.4 MW'dır.

Türkiye, Paris Anlaşması'na katkı sunmak için "Ulusal Katkı Beyanı" (INDC) kapsamında 2030 yılına kadar sera gazı emisyonlarını %21 oranında azaltmayı taahhüt etmiştir. Bu hedef, referans senaryoya göre yapılacak bir azaltımı ifade etmektedir, yani Türkiye, mevcut politika ve uygulamalar devam ederse ortaya çıkacak emisyon artışını bu oranla sınırlamayı hedeflemektedir. Bu %21 oranında azaltım, 2030 yılı için beklenen toplam sera gazı emisyonlarının 1.175 milyon ton (Mt) CO₂ eşdeğerinden 929 Mt CO₂ eşdeğerine düşürülmesini öngörmektedir. Sera gazı azaltımı ise 541.246 ton CO₂/yıl olarak bulunmuştur. 541.246 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı, Türkiye'nin 246 milyon ton CO₂ eşdeğeri olan toplam azaltım hedefinin yaklaşık % 0,22 gerçekleştirilebilir.

Aksaray ili ve ilçeleri için hayvansal kaynaklı atıklar ve bitkisel kaynaklı atıklar beraber değerlendirildiğinde en fazla atık potansiyelinin Merkez ilçede olduğu fakat en fazla biyogaz üretim potansiyelinin Eskil ilçesinde olduğu görülmüştür. Bu iki ilçe hayvan sayıları karşılaştırıldığında Merkez ilçesinde 909 950 adet hayvan varlığı, Eskil ilçesinde ise 302 409 adet hayvan varlığı tespit edilmiştir. Öte yandan Merkez ilçesi ekili alanı 916 870 dekar ve Eskil ilçesi ekili alanı 698 150 dekar olarak tespit edilmiştir. Merkez ilçesinde tarımsal kaynaklı atıklar 294 887 ton ve Eskil ilçesinde tarımsal kaynaklı atıklar 502 690 ton olarak saptanmıştır. Bu iki ilçe hayvan sayıları, ekili alan ve tarımsal kaynaklı atık miktarları bakımından karşılaştırıldığında Eskil ilçesinde biyogaz üretim potansiyelinin daha fazla olmasının sebebi Eskil ilçesinde yetiştirilen tarım ürünlerinden kaynaklanmaktadır. Merkez ilçede buğday, arpa, çavdar

gibi tarım ürünleri ağırlıklı yetiştirilirken; Eskişehir ilçesinde mısır, Ayçiçek, şekerpancarı gibi biyogaz potansiyelinin yüksek olduğu tarım ürünleri yetiştirilmektedir. Bu tarım ürünlerinin potansiyelinin yüksek olması; karbonhidrat ve lignoselülozik yapıda olmalarından, yüksek biyokütle verimine sahip olmalarından ve yüksek enerji içeriğine sahip olmalarından kaynaklanır.

Ekinci vd. (2010) yaptığı bir çalışmada hayvansal atık kaynaklı yıllık toplanabilir gübre miktarını 747 073 ton ve buna bağlı biyogaz üretim potansiyelini 18 327 012 m³/yıl olarak bulmuştur. Günümüz güncel hayvansal atık miktarı ve buna bağlı biyogaz üretim miktarları karşılaştırıldığında hayvan sayısının arttığı oranda yaklaşık olarak biyogaz üretim potansiyeli de artmıştır.

Yapılcan ve Bakırtaş (2024) yaptığı bir çalışmada hayvan gübrelərini baz alarak; toplamda Aksaray'ın hayvan gübresi kaynaklı biyogaz üretim miktarı 102 092 700 m³/yıl ve toplamda elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyelini ise 479 835 690 kWh/yıl olarak hesaplamıştır. Büyükbaş hayvanlar yaş sınıfı yapılmaksızın 5.47 ton/yıl-adet gübre, gübrenin kullanılabilirlik oranı %50, kuru madde oranı ise %15 sonuç olarak 1 ton büyükbaş hayvan atığından 33 m³ biyogaz elde edildiği kabul edilmiştir. Bu çalışmadaki hesapta ise küçük baş 0-1 hayvanın 4,11 ton /yıl-adet gübre, toplama yüzdesi %50, KM yüzdesi %15 ve UKM yüzdesi %15 ve metan verimi 200 m³ CH₄/ton UKM ve metan yüzdesi %60 kabul edilerek 1 ton gübreden 20 m³ biyogaz eldesi dikkate alınmıştır. Dolayısıyla yapılan çalışmalarda seçilen kabullerin de sonuçları önemli ölçüde etkilediği dikkate alınmalıdır.

4.4 Yapılması Planlanan Biyogaz Tesislerinin Ekonomik Değerlendirilmesi

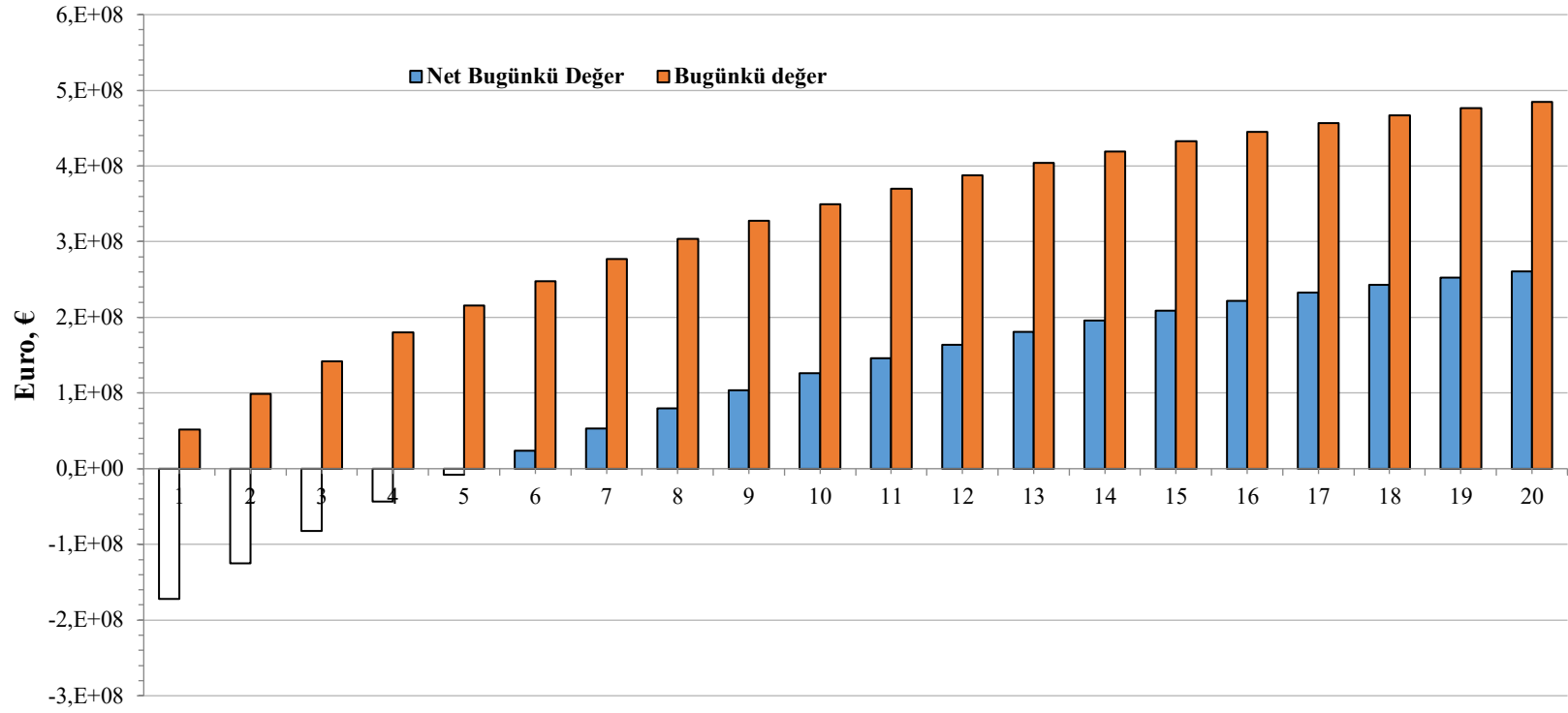
Aksaray İlinin Tarımsal atıkları için yapılan kurulum maliyeti ve yıllık gelir gider için hesaplanan değerler Çizelge 4.9'da verilmektedir. Yatırımın değerlendirmesi için hesaplanan gösterge değerler de aşağıda sırasıyla verilmektedir.

4.4.1 Bugünkü değer ve net bugünkü değerler

Net bugünkü değerler her yıl için hesaplanmış ve bugünkü değerler Euro cinsinden hesaplanmış ve Şekil 4.5'de verilmektedir. 5 yıl sonrasında tesislerin kar ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.9. Biyogaz tesisleri kurulum, yıllık işletme ve gelir tutarları.

Maliyet/gider/gelir	Yöntem	Tutar, €
Başlangıç maliyeti, €	Biyogaz tesisi kurulum maliyeti: Yıllık ham atık miktarı (ton) $\times$ Birim maliyet (57,719 €/ton atık) (Murphy ve McCarthy, 2005)	175.203.832
	Kojenerasyon ünitesi kurulum maliyeti: Kurulu güç (kW) $\times$ 721,56 €/kW (Murphy ve McCarthy, 2005)	48.635.407
		223.839.240
Giderler, €/yıl	Biyogaz reaktör sistemi kullanımı ve bakımı: Biyogaz tesisi kurulum maliyeti $\times$ 0,10 (%10) (Murphy ve McCarthy, 2005)	17.520.383
	Kojenerasyon ünitesinin kullanımı ve bakımı: 0,01 €/kWh (Murphy ve McCarthy, 2005)	5.412.464
	İşgücü giderleri: 24 kişi/tesis $\times$ 12 ay $\times$ 1067 €	5.177.814
	Sigorta ve vergiler: Toplam kurulum maliyeti $\times$ 0,075 (Kaya vd., 2009)	16.787.943
	Ham madde temini ve taşıma: Yıllık ham madde (ton) $\times$ 6 €/ton (Aksay ve Tabak, 2022)	18.212.639
		63.111.244
Gelirler, €/yıl	Elektrik satışı: Üretilcek yıllık elektrik miktarı (kWh/yıl) $\times$ Elektrik enerjisi satış fiyatı (0,0552 €/kWh)	29.882.912
	Kojenerasyon ısı kullanımı: Üretilcek yıllık elektrik miktarı (kWh/yıl) $\times$ ısı enerjisi birim satış fiyatı (0.0247 €/kWh)	30.117.937
	Digestat katı gübre satışı: Organik katı gübre üretimi ton/yıl $\times$ 73,3 €/ton katı gübre	12.927.351
	Digestat sıvı gübre satışı: Organik katı gübre üretimi ton/yıl $\times$ 64,0 €/ton sıvı gübre	45.128.206
	Karbon ticareti: Azaltılan karbon salınımı ton CO ₂ /yıl $\times$ Yeşil sertifika ödemesi (3,66 €/ ton CO ₂)	1.979.005
		120.035.410
Yıllık net akış, €/yıl		56.924.167



Geçen yatırım süresi, yıl

Şekil 4.5. Yıllara göre net bugünkü değerler ve bugünkü değerler.

Bu çalışma kapsamında, Aksaray iline ait ilçeler bazında elde edilebilecek enerji potansiyelleri hesaplanmıştır. İlçe bazlı hayvansal atıklar ve tarımsal atıklardan kaynaklı enerji üretim potansiyelleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular Aksaray İli ve ilçelerini içerecek şekilde CBS yazılımlarından QGIS programı ile haritalandırılmıştır. Yüksek biyokütle konsantrasyonuna sahip alanlar öncelikli olarak belirlenerek; yakın mesafelerde bulunan ilçelerdeki atıkların merkezi bir lokasyonda toplanması amaçlanmıştır. Biyogaz tesislerinde taşıma mesafesinin önemli bir gider kalemi olmasından dolayı taşıma mesafesi son derece önemlidir. Bu sebepten 0 – 25 km mesafelerdeki atıkların bulunduğu lokasyonlar değerlendirilmiştir.

Literatür bilgileri incelendiğinde; gübre ve saman için maksimum taşıma mesafesinin yaklaşık 200 km olabileceği belirtilmiştir (Berglund ve Börjesson, 2006). Fakat günümüz yakıt fiyatları göz önüne alındığında bu mesafelerin çok da uygun olmadığı görülmektedir.

Aksaray il genelinde toplam atık miktarı 3 035 440 ton, bu veri doğrultusunda biyogaz potansiyeli 237 140 672 m³ CH₄/yıl, elektrik üretim potansiyeli 541 246 445 kWh/yıl ve ısı enerjisi potansiyeli 676 558 057 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Elde edilen biyogazın elektrik üretim amaçlı kullanılması halinde Aksaray ilinde biyogaz tesisi planlandığında kurulu güç potansiyeli 67.4 MW olarak hesaplanmıştır. Her bir tesisin kurulu gücünün 4 MW olduğu varsayılarak; Aksaray ilinin biyokütle potansiyellerinin fazla olduğu noktalara 16 tane biyogaz tesisi tasarlanmıştır.

4 MW kurulu gücünde Biyogaz tesisi kurulum maliyeti 175 203 832 € ve kojenerasyon ünitesi kurulum maliyeti 48 635 407 € olarak belirlenmiştir. 17 520 38 € biyogaz reaktör sistemi kullanım ve bakım maliyeti, 5 412 464 € kojenerasyon bakımı ve maliyeti, 5 177 814 € iş gücü gideri, 16 787 943 € sigorta ve vergi gideri, 182 212 639 € hammadde temini ve taşıma gideri olmak üzere 63 111 244 € yıllık gider olacağı hesaplanmıştır.

Tesisin gelirleri ise; üretilen elektriğin satışından beklenen gelir, jeneratörden oluşacak sıcak suyun ekonomik olarak değerlendirilmesi ve anaerobik fermentasyon işlemi sonucu fermente olmuş substratın gübre veya toprak iyileştirici olarak satışından elde edilebilecek gelirdir.

Bu doğrultuda 29 882 912 € elektrik satış geliri, 30 117 937 € kojenerasyon ısı kullanım geliri, 12 927 351 € katı gübre satış geliri, 45 128 206 € sıvı gübre satış geliri, 708 605 € karbon ticareti geliri hesaplanmıştır.

Her yıl aynı gelir ve gidere sahip olduğu varsayılarak yapılan hesaplamalarda tesisin Fayda/Maliyet Oranı 1,88 olarak bulunmuştur. Oranın 1'den büyük olması, yatırımın getirisinin maliyetinden fazla olduğunu, yani yatırımın kârlı olduğunu gösterir. Ayrıca yatırılan sermayenin yüksek bir getiri sunduğunu ve projenin ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu gösterir. Ayrıca tesisin geri ödeme süresinin 4.02 yıl olduğu belirlenmiştir. Biyogaz tesisleri, tasarım giderlerinin 4-7 yıl içerisinde kendisini amorti etmesi durumunda, ekonomik açıdan uygulanabilir durumdadırlar (Kaya vd., 2009).

Net bugünkü değerin 5. yıldan 20 yıla kadar oldukça karlı olduğu görülmektedir. İskonto oranı 0,10 olmasına rağmen tesisler 20 yılın sonunda net olarak 260.788.281 € kar elde edebilmektedir.

4.4.2 İç getiri oranı

Yatırımın karlılığı değerlendirme araçlarından biri olan İGO değeri biyogaz tesislerinin ömrü olan 20 yıl dikkate alındığında 0,251 olarak bulunmuştur. Bu oran projenin yıllık getiri oranı olarak da değerlendirilir. Bu değerin iskonto oranından (0,10) büyük olması yatırımın karlı olduğu anlamını taşımaktadır.

4.4.3 Fayda/maliyet oranı

F/M oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. 1,90 kat daha fazla gelir elde edilmektedir. Bu değerin 1 den büyük olması yatırımın kar edeceği anlamına gelmektedir. Değerin büyüklüğü ise karlı bir yatırım olduğu anlamına gelmektedir. F/M Oranı > 1: faydalar maliyetlerden fazla; yatırım karlı ve yapılması tavsiye edilir.

$$\frac{F}{M} = \frac{\text{Fayda mevcut değeri (yıllık gelirler)}}{\text{Maliyet mevcut değeri (yıllık giderler)}} = \frac{120035410 \text{ €}}{63111244 \text{ €}} = 1,90$$

4.4.4 Geri ödeme süresi

Yatırımların ne kadar hızlı bir şekilde kendini amorti ettiğini belirlemek için kullanılır. Bu metrik özellikle risk analizi açısından önemlidir: kısa geri ödeme süreleri yatırımı daha cazip ve güvenli hale getirir. Yapılacak tesislerin başlangıç maliyetleri ve yıllık

gelir (net akış) dikkate alındığında aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Uzun vadeli bir yatırım olarak değerlendirildiğinde 3,93 yıl sonra kara geçilmesi çok iyi bir göstergedir.

$$GÖS = \frac{\text{Başlangıç yatırım (BY)}}{\text{Yıllık gelir (YG)}} = \frac{223.839.240 \text{ €}}{56.924.167 \text{ €/yıl}} = 3,93 \text{ yıl}$$



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Aksaray ili ve ilçelerinin biyogaz üretim potansiyellerinin değerlendirilerek, hayvansal ve tarımsal atıklarının enerji üretimine katkısının ortaya konması amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular dahilinde Aksaray ilindeki ilçelerin biyogaz potansiyeli, kurulu güç kapasitesi ve ekonomik uygulanabilirliği detaylı şekilde analiz edilmiştir.

Aksaray ili genelinde toplam 3.035.440 ton atık bulunmakta olup, bu atıklardan yıllık 237.140.672 m³ biyogaz elde edilebileceği tespit edilmiştir. Bu biyogaz potansiyeli değeri, 541.246.445 kWh/yıl elektrik ve 676.558.057 kWh/yıl ısı enerjisi üretimine olanak sağlamaktadır. Aksaray ilinin ilçeleri baz alınarak yapılan çalışmalarda Merkez İlçesinin, toplam 1.086.827 ton/yıl hayvansal atık ve 1.655.015 ton/yıl tarımsal atık miktarına sahip olduğu ve yıllık 91.897.952 m³ biyogaz üretimi sağlayabilecek kapasitede olduğu hesaplanmıştır. Bu biyogaz üretim potansiyelinden elde edilebilecek enerji üretimi 474.064.243 kWh/yıl ve elektrik üretim potansiyeli ise 210.695.219 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, biyogaz üretim potansiyelinde Merkez ilçenin önemli bir noktada olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlardan görülmüyor ki; Merkez ilçe, 26 MW gücünde bir biyogaz tesisini destekleyebilecek kapasiteye sahiptir. Eski İlçesi ise, 571.366 ton/yıl hayvansal atık miktarı ve 502.690 ton/yıl tarımsal atık miktarı ile toplamda 98.785.426 m³ biyogaz üretim potansiyeline sahip olup, 28 MW gücünde biyogaz tesisi kurma potansiyeline sahiptir. Eski ilçesi, mısır, ayçiçeği ve şeker pancarı gibi biyogaz üretiminde yüksek verim sağlayan tarım ürünlerin yoğun olarak üretilmesi sebebiyle, biyogaz üretim potansiyelinde öne çıkmaktadır. Güzeyurt, Sarıyahşi ve Ağaçören ilçeleri gibi düşük tarımsal ve hayvansal atık üretimine sahip bölgelerde ise biyogaz üretim potansiyeli daha düşüktür. Bu ilçelerdeki düşük biyogaz üretim potansiyeli, hayvansal ve tarımsal atık miktarlarının az sayıda olmasından kaynaklanmaktadır.

Aksaray ilinde, ilçelerin toplam biyogaz üretim potansiyellerinin hesaplanmasıyla birlikte 541.246 ton CO₂/yıl sera gazı azaltımı sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu miktar, Türkiye'nin sera gazı azaltım hedefinin % 0,22'sinin karşılanabileceğini göstermektedir.

Aksaray ili ve Türkiye’deki mevcut tesisler ve literatür incelendiğinde 4 MW gücünde biyogaz tesislerinin ekonomik uygulanabilirliğinin Aksaray ili ve ilçelerinde uygun olduğu kabul edilmiştir. Aksaray ilinin hesaplanan enerji potansiyeli değeri ile 16 adet 4 MW gücünde biyogaz tesisleri yapılabileceği tespit edilmiştir.

Kurulum maliyeti, işletme giderleri ve gelir kaynakları dikkate alınarak yapılan analizler sonucunda, her yıl aynı gelir ve gider değerlerinin olduğu da varsayılarak; 4 MW gücünde bir biyogaz tesisinin geri ödeme süresi 3,93 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu değer planlanan biyogaz tesislerinin kısa geri dönüş süreleri ve yüksek kârlılık potansiyeli sayesinde enerji sektörüne ve yerel ekonomiye önemli katkılar sağlayabileceğini göstermektedir.

Biyogaz tesisi sadece enerji üretmekle sınırlı kalmayıp aynı zamanda döngüsel ekonomi modelinin de merkezini oluşturur. Döngüsel ekonomi, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeye teşvik eder. Biyogaz ise yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutar ve yerel enerji arz güvenliğine olumlu katkı sağlar. Yerel ve tarımsal atıkların kullanılmasıyla birlikte fosil yakıt ihtiyacı azalır ve yerel ekonomiye katkı sağlanır. Ayrıca biyogaz üretim sürecinden çıkan yan ürünlerin gübre olarak kullanılabilmesi; tarımsal üretimde kimyasal gübre ihtiyacını azaltarak doğal döngülerin sürdürülebilirliğine önemli bir katkı sağlar.

KAYNAKLAR

- Abad, V., Avila, R., Vicent, T. ve Font, X., 2019. Promoting circular economy in the surroundings of an organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion treatment plant: Biogas production impact and economic factors, *Bioresource Technology*, 283, 10-17.
- Ahmad, W., Nisar, J., Anwar, F. ve Muhammad, F., 2023. Future prospects of biomass waste as renewable source of energy in Pakistan: A mini review, *Bioresource Technology Reports*, 101658.
- Aksay, M.V. ve Tabak, A., 2022. Mapping of biogas potential of animal and agricultural wastes in Turkey, *Biomass Conversion and Biorefinery*, 12, 11, 5345-5362.
- Aksu, Y., 2019. Amasya ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Tokat*.
- Akyürek, Z. ve Coşkun, S., 2019. Determination of biogas energy potential of Aegean Region based on animal waste, *Celal Bayar University Journal of Science*, 15, 2, 171-174.
- Andlar, M., Belskaya, H., Morzak, G., Ivančić Šantek, M., Rezić, T., Petravić Tominac, V. ve Šantek, B., 2021. Biogas production systems and upgrading technologies: a review, *Food Technology and Biotechnology*, 59, 4, 387-412.
- Anonim. 2024. Aksaray İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, Aksaray ili 2024 tarımsal faaliyet verileri, Aksaray.
- Anukam, A. ve Berghel, J., 2021. Biomass pretreatment and characterization: a review, *Biotechnological Applications of Biomass*, 1-17.
- Atılğan, B. ve Azapagic, A., 2016. An integrated life cycle sustainability assessment of electricity generation in Turkey, *Energy Policy*, 93, 168-186.
- Avcioğlu, A.O. ve Türker, U., 2012. Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3, 1557-1561.
- Badem, A., 2017. Erzincan ilindeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan Üniversitesi, Erzincan.
- Berglund, M. ve Börjesson, P., 2006. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production, *Biomass and Bioenergy*, 30, 3, 254-266.
- Börjesson, P. ve Berglund, M., 2004. Environmental analysis of biogas systems, *Proc. 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*.

- Braun, R., 2007. Anaerobic digestion: a multi-faceted process for energy, environmental management and rural development, pp. 335-416, in: Ranalli P. (Editor) Improvement of crop plants for industrial end uses, Springer.
- Budzianowski, W.M. ve Budzianowska, D.A., 2015. Economic analysis of biomethane and bioelectricity generation from biogas using different support schemes and plant configurations, Energy, 88, 658-666.
- Burg, V., Bowman, G., Haubensak, M., Baier, U. ve Thees, O., 2018. Valorization of an untapped resource: Energy and greenhouse gas emissions benefits of converting manure to biogas through anaerobic digestion, Resources, Conservation and Recycling, 136, 53-62.
- Cantekin, E., 2022. Trakya bölgesinde biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Capodaglio, A.G., Callegari, A. ve Lopez, M.V., 2016. European framework for the diffusion of biogas uses: emerging technologies, acceptance, incentive strategies, and institutional-regulatory support, Sustainability, 8, 4, 298.
- Çalışkan, M. ve Tumen Ozdil, N.F., 2021. Potential of biogas and electricity production from animal waste in Turkey, BioEnergy Research, 14, 3, 860-869.
- Çevik, A., 2016. Çanakkale İli'ndeki hayvansal atıkların biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.
- ÇYGM, 2017. Biyogaz Kılavuzu Üretimden Kullanıma , T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Daniel-Gromke, J., Ertem, F.C., Kittler, R., Gökgöz, F., Neubauer, P. ve Stinner, W., 2016. Analyses of regional biogas potentials in Turkey, Eurasia 2016 Waste Management Symposium, Istanbul, Turkey. pp. 2-4.
- DBFZ, 2011. Türkiye'de biyogaz yatırımları için geçerli koşulların ve potansiyelin değerlendirilmesi, Türk-Alman Biyogaz Projesi, Ankara.
- EI, 2024. Energy Institute, Statistical Review of World Energy 73rd edition.
- EIA, 2016. The U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook, URL Adres: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26212>, Erişim tarihi: 12,10,2024.
- Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yıldız, O., Ertekin, C. ve Ozturk, H.H., 2010. The prospective of potential biogas plants that can utilize animal manure in Turkey, Energy Exploration & Exploitation, 28, 3, 187-205.
- FNR, 2006. Handreichung Biogasgewinnung undnutzung (El kitabı biyogaz üretimi ve kullanımı), Institut für Energetik und Umwelt gGmbH,

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. Gülzow, Germany.

Goulding, D. ve Power, N., 2013. Which is the preferable biogas utilisation technology for anaerobic digestion of agricultural crops in Ireland: Biogas to CHP or biomethane as a transport fuel?, *Renewable Energy*, 53, 121-131.

Güç, A., 2010. Büyükbaş hayvan atığından biyogaz üretimi ve Uşak ili için çevresel etkilerinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Gülen, J. ve Çeşmeli, Ç., 2012. Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları, *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 5, 1, 65-84.

Hakawati, R., Smyth, B.M., McCullough, G., De Rosa, F. ve Rooney, D., 2017. What is the most energy efficient route for biogas utilization: heat, electricity or transport?, *Applied Energy*, 206, 1076-1087.

IEA, 2019. IEA (International Energy Agency) World Energy Outlook 2019.

Islam, K.N., Sarker, T., Taghizadeh-Hesary, F., Atri, A.C. ve Alam, M.S., 2021. Renewable energy generation from livestock waste for a sustainable circular economy in Bangladesh, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110695.

Kaya, D., Çağman, S., Eyidoğan, M., Aydoner, C., Çoban, V. ve Tırıs, M., 2009. Türkiye'nin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli ve ekonomisi, *Atık Teknolojileri Dergisi*, 1, 48-51.

Kaygusuz, K., 2002. Renewable and sustainable energy use in Turkey: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6, 4, 339-366.

Koca, A., 2007. Yenilenebilir bir enerji kaynağı :Biyogaz, *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 5, 3, 32-35.

Kong, K.G.H., How, B.S., Lim, J.Y., Leong, W.D., Teng, S.Y., Ng, W.P.Q., Moser, I. ve Sunarso, J., 2022. Shaving electric bills with renewables? A multi-period pinch-based methodology for energy planning, *Energy*, 239, 122320.

Korbag, I., Omer, S.M.S., Boghazala, H. ve Abusasiyah, M.A.A., 2020. Recent advances of biogas production and future perspective, pp.1-40, in: Abd El-Fatah Abomohra, Mahdy Elsayed, Zuzeng Qin, Hongbing Ji and Zili Liu (Editors), *Biogas - Recent Advances and Integrated Approaches*, IntechOpen United Kingdom.

Kossmann, W., Pönitz, U., Habermehl, S., Hoerz, T., Krämer, P., Klingler, B., Kellner, C., Wittur, T., Klopotek Fv, K.A. ve Euler, H. 2000. Biogas digest: volume I, biogas basics, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT).

- Kovancı, İ., Hakererler, H. ve Oktay, M., 1989. Tavuk gübresi ile çöp gübresinin tarımda organik gübre olarak kullanılmasına dair bir araştırma, Ege Üniversitesi Araştırma Fonu, Proje No 113. Bornava-İzmir.
- Kruczyński, S.W., Pawlak, G., Wojs, M. ve Wołoszyn, R., 2013. Biogas as a perspective fuel for agriculture tractors, *Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów*, 92, 1.
- Lantz, M., 2012. The economic performance of combined heat and power from biogas produced from manure in Sweden—A comparison of different CHP technologies, *Applied Energy*, 98, 502-511.
- Liu, T., Ferrari, G., Pezzuolo, A., Alengebawy, A., Jin, K., Yang, G., Li, Q. ve Ai, P., 2023. Evaluation and analysis of biogas potential from agricultural waste in Hubei Province, China, *Agricultural Systems*, 205, 103577.
- Martins, F., Felgueiras, C., Smitkova, M. ve Caetano, N., 2019. Analysis of fossil fuel energy consumption and environmental impacts in European countries, *Energies*, 12, 6, 964.
- Monforti, F., Lugato, E., Motola, V., Bodis, K., Scarlat, N. ve Dallemard, J.-F., 2015. Optimal energy use of agricultural crop residues preserving soil organic carbon stocks in Europe, *Renewable and sustainable energy reviews*, 44, 519-529.
- Moya, C., Santiago, R., Hospital-Benito, D., Lemus, J. ve Palomar, J., 2022. Design of biogas upgrading processes based on ionic liquids, *Chemical Engineering Journal*, 428, 132103.
- Murphy, J. ve McCarthy, K., 2005. The optimal production of biogas for use as a transport fuel in Ireland, *Renewable Energy*, 30, 14, 2111-2127.
- Narin, M., 2023. Küresel İklim Değişikliği Kapsamında Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları, *Toprak İşveren Dergisi*, 139.
- Nguyen, T.H., Doan, Q.-V., Khan, A., Derdouri, A., Anand, P. ve Niyogi, D., 2024. The potential of agricultural and livestock wastes as a source of biogas in Vietnam: Energetic, economic and environmental evaluation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114440.
- Nisar, J., Waris, S., Shah, A., Anwar, F., Ali, G., Ahmad, A. ve Muhammad, F., 2022. Production of bio-oil from de-oiled Karanja (*Pongamia pinnata* L.) seed press cake via pyrolysis: Kinetics and evaluation of anthill as the catalyst, *Sustainable Chemistry*, 3, 3, 345-357.
- Oflaz, A.T., 2023. İzmir İli Biyogaz Potansiyeli ve Türkiye Ekonomisine Katkısı, Bursa Teknik Üniversitesi , Lisansüstü Eğitim Enstitüsü , Bursa.
- Owczuk, M., Matuszewska, A., Kruczyński, S. ve Kamela, W., 2019. Evaluation of using biogas to supply the dual fuel diesel engine of an agricultural tractor, *Energies*, 12, 6, 1071.

- Özdemir, M., 2023. Gaziantep ili biyogaz potansiyelinin araştırılması ve çiftlik tipi 50 m3 kapasiteli biyogaz tesis tasarımı, İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hatay.
- Özer, B., 2017. Biogas energy opportunity of Ardahan city of Turkey, *Energy*, 139, 1144-1152.
- Öztürk, B., 2019. Aydın ili biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Aydın.
- Pavičić, J., Novak Mavar, K., Brkić, V. ve Simon, K., 2022. Biogas and biomethane production and usage: technology development, advantages and challenges in Europe, *Energies*, 15, 8, 2940.
- Persson, M., Jönsson, O. ve Wellinger, A., 2006. Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection, IEA Bioenergy task. pp. 1-34.
- Redwanz, M. ve Walter, H., 1984. Biogas und Äthanol als alternative Kraftstoffe für landwirtschaftliche Motoren, *Tropenlandwirt*, 85, 15-27.
- Saleem, M., 2022. Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source, *Heliyon*, 8, 2.
- Saz, S., 2021. Muğla ili biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Scarlat, N., Martinov, M. ve Dallemand, J.-F., 2010. Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use, *Waste Management*, 30, 10, 1889-1897.
- Schmid, C., Horschig, T., Pfeiffer, A., Szarka, N. ve Thrän, D., 2019. Biogas upgrading: A review of national biomethane strategies and support policies in selected countries, *Energies*, 12, 19, 3803.
- Slorach, P.C., Jeswani, H.K., Cuéllar-Franca, R. ve Azapagic, A., 2019. Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy, *Science of the Total Environment*, 693, 133516.
- Tekeli, M., 2014. Türkiye biyogaz potansiyelinin belirlenerek ısı ve elektrik enerjisi üretimine uygulanabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Thrän, D., Persson, T., Svensson, M., Daniel-Gromke, J., Ponitka, J., Seiffert, M., Baldwin, J., Kranzl, L., Schipfer, F. ve Matzenberger, J., 2014. Biomethane-status and factors affecting market development and trade : a joint study by IEA Bioenergy Task 40 and Task 37, pp.1-92 , in: Junginger M ve Baxter D, (Editor), *Biomethane: Status and Factors Affecting Market Development and Trade*. IEA Bioenergy, JRC91580.

- Yan, B., Li, Y., Shi, W. ve Yan, J., 2023. Biogas potential from agricultural waste and its CO₂ emission reduction: a case study of Hubei Province, China, Environmental Science and Pollution Research, 30, 24, 66170-66185.
- Yapılcan, H.E., 2021. Aksaray ili hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Aksaray.
- Yapılcan, H.E. ve Bakırtaş, H., 2024. Aksaray ilinde küçükbaş ve kanatlı hayvan gübresi temelinde biyogaz potansiyelinin belirlenmesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13, 1, 107-115.
- Yılmaz, Ş., 2020. Dünyada ve Türkiye’de birincil enerji arzı, pp. 5-18, in: Türkiye Enerji Görünümü Oda Raporu , TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara.
- Yokuş, İ., 2011. Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara., Yüksek Lisans Tezi.
- Yürük, F., 2014. Kanatlı hayvan atıklarının biyogaz potansiyelinin belirlenmesi ve tesis yerleşim optimizasyonu: Düzce ili örneği, Yüksek Lisan Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- URL-1 <<https://ourworldindata.org/energy>>, Erişim tarihi: 22.10.2024.
- URL-2 <<https://eciu.net/netzerotracker>>, Erişim tarihi: 21.10.2024.
- URL-3 <<https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari>>, Erişim tarihi: 22.10.2024.
- URL-4 <<https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle>>, Erişim tarihi: 15.10.2024.
- URL-5 <<https://aksaray.ktb.gov.tr/TR-63607/tarihsel-gelisim.html>>, Erişim tarihi: 21.10.2024.
- URL-6 <<http://www.aksaray.gov.tr/cografi>>, Erişim tarihi: 21.10.2024.
- URL-7 <<https://aksaray.ktb.gov.tr/TR-63622/cografya.html>>, Erişim tarihi: 21.10.2024.
- URL-8 <<https://www.investinaksaray.com/bir-bakista-aksaray/ilceler>>, Erişim tarihi: 21.10.2024.
- URL-9 <<https://karsem.karatay.edu.tr/aksaray-hakkinda-bilinmesi-gerekenler>>, Erişim tarihi: 21.10.2024.
- URL-10 <<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Urun-Denge-Tablolari-2022-49456>>, Erişim tarihi: 21.10.2024.

URL-11 <https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/TARYAT/Belgeler/il_yatirim_rehberleri/aksaray.pdf>, Erişim tarihi: 21.10.2024.

URL-12 <<https://www.encazip.com/elektrik/mepas-enerji>>, Erişim tarihi: 07.10.2024.

URL-13 <<https://portal.enerya.com.tr/DogalGazBirimFiyatlari/index.xhtml?city=07>>, Erişim tarihi: 31.10.2024.

.



EKLER

Ek A. Çizelgeler

Çizelge A 1. Ülkemizde biyogaz potansiyeli ile ilgili yapılan çalışmalar.

Yazarlar/Yıl	Araştırma Amacı	Hayvan Türleri	Veri Toplama Teknikleri	Analiz Teknikleri	Bulgu
Güç (2010)	Uşak ilindeki büyükbaş hayvan sayısı belirlenerek değerlendirilebilecek biyogaz potansiyeli belirlenerek, buna göre saptanan biyogaz potansiyelinin değerlendirilmesi durumunda sağlanacak çevresel etkilerin ortaya konulması amacıyla, hava, toprak ve su kirliliği ile gürültü, görüntü ve koku problemleri irdelenmiştir.	Büyükbaş hayvanlar	TÜİK verileri (ikincil veriler), kullanılmıştır.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama diyagramı kullanılmıştır.	Uşak ilinde yıllık ortalama 820.155 m ³ büyükbaş hayvan atığı varlığında 27 milyon m ³ /yıl değerinde biyogaz potansiyeli olacağı ve bu potansiyelin değerlendirilmesi durumunda 67 milyon kWh civarında elektrik enerjisi sağlanabileceği ve 30,000 ton CO ₂ gazının atmosfere salınımı engelleneceği belirtilmiştir.
Yokuş (2011)	Sivas ili hayvancılığı mevcut istatistikî değerleri kullanılarak ve belirli bilimsel kriterler çerçevesinde elde edilebilecek biyogaz üretim potansiyeli ve enerji değeri ve biyogaz tesisleri için optimum çalışma koşulları belirlenmesi amaçlanmıştır.	Büyükbaş hayvanlar, Küçükbaş hayvanlar, Kanatlı hayvanlar	Sivas Tarım İl Müdürlüğü'nden ikincil veriler kullanılmıştır.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır	Sivas'ta tahmini hesaplamalara göre yıllık 2,88 milyon ton elde edilebilir yaş atıktan 41 milyon m ³ biyogaz ve 917.715 GJ'luk (36 MTEP) enerji potansiyeli söz konusu olduğu belirtilmiştir.

Çizelge A 1. (devam). Ülkemizde biyogaz potansiyeli ile ilgili yapılan çalışmalar.

Avcioğlu ve Türker (2012)	Türkiye genelinde 2009 yılı büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanlarının biyogaz potansiyeli araştırılmıştır.	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, Kanatlı hayvanlar	TÜİK verileri, (ikincil veriler) kullanılmıştır.	Atıkların UKM başına ürettiği biyogaz değerleri literatürden alınarak kullanılmıştır. Her hayvanın canlı ağırlığı başına oluşturacağı atık miktarı literatürden alınmıştır.	Toplam biyogaz potansiyeli 2.177.553.000 m ³ biyogaz/yıl, ve bu miktarın % 68 i büyükbaştan, % 27 si kümes hayvanlarından ve % 5'i küçükbaş hayvanlardan sağlanabileceği bulunmuştur. Türkiye'nin biyogaz enerjisi potansiyeli 49 PJ bulunmuştur.
Tekeli (2014)	Ülkemizin İller düzeyinde tarım ve hayvancılık potansiyelini belirlemek için büyükbaş küçükbaş ve kanatlı hayvan sayısı miktarlar ile biyogaz üretiminde büyük öneme sahip olan ve ülkemizde tarımı yoğun bir şekilde yapılan şekerpancarı ve slajlık mısır üretim miktarları ile biyogaz potansiyeli hesaplanması amaçlanmıştır.	Süt İneği Gübresi, Koyun Gübresi, Tavuk Gübresi, Mısır Slajı ve Şekerpancarı posa	TÜİK verileri (ikincil veriler) kullanılmıştır.	Laboratuvarda biyogaz üretim sınır şartlarını sağlayan, biyogaz üretim şartlandırıcısı imal edilerek, atık karıştırmanın biyogaz üretimine etkisi incelenmiştir.	Yapılan bu çalışma sonucunda en fazla biyogaz üretimi büyükbaş hayvan gübresinden üretilebileceği hesaplanmıştır. Buna göre büyükbaş hayvan gübresinden yılda yaklaşık 3.718.179.539,90 m ³ biyogaz üretim potansiyelinin bulunduğu ve bu miktarın tamamının elektrik enerjisi üretiminde kullanıldığında yaklaşık 8.932.554.526,66 kWh/yıl elektrik enerjisi üretilebileceği hesaplanmıştır.

Çizelge A 1. (devam). Ülkemizde biyogaz potansiyeli ile ilgili yapılan çalışmalar.

Yürük (2014)	Düzce ilindeki kanatlı hayvan sayısı belirlenerek biyogaz potansiyeli ortaya konulması amaçlanmıştır.	Kanatlı hayvanlar	Düzce Tarım İl Müdürlüğü'nden ikincil veriler kullanılmıştır.	K-means kümeleme yöntemi ve Simulated Annealing – SA (Tavlama Benzetimi – TB) algoritması kullanılmıştır.	Düzce ilinde bulunan 473 adet broiler yetiştiriciliği yapan işletmenin kapasite ve konum bilgisi elde edilmiştir.
Çevik (2016)	Çalışma kapsamında Çanakkale İli'nde hayvansal atıklardan elde edilebilecek teorik biyogaz potansiyellerinin belirlenmesi ve bunun alansal dağılımlarının incelenmesi hedeflenmiştir.	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, kanatlı hayvanlar	TÜİK ikincil verileri ve Çanakkale İl Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü'nden ikincil veriler kullanılmıştır.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır.	Çanakkale İli'nin biyogaz potansiyeli 60793963 m ³ /yıl ve bu potansiyele bağlı olarak elde edilebilecek teorik elektrik potansiyeli 156848426 kW/yıl ve il genelinde hayvansal atıklarından elde edilebilecek biyo gübre miktarı ise 394719 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.
Badem (2017)	Erzincan Merkez ve ilçelerinde bulunan hayvancılık işletmelerinden kaynaklı atıkların, biyogaz enerjisi potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, kanatlı hayvanlar	Erzincan Damızlık Sığır Yetiştiricileri Birliği ve Gıda, Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü verileri kullanılmıştır.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır.	Erzincan ilinin toplam biyogaz potansiyeli 15 511 011 m ³ /yıl olarak hesaplanmıştır. Biyogaz üretim potansiyeli ilçeler bazında incelendiğinde en yüksek potansiyele sahip ilçenin, 6 956 896 m ³ /yıl ile Merkez ilçe olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge A 1. (devam). Ülkemizde biyogaz potansiyeli ile ilgili yapılan çalışmalar.

Aksu (2019)	Amasya ilinde 2018 yılına ait hayvancılık verileriyle yapılan çalışmada, hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı belirlenmesi amaçlanmıştır.	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, kanatlı hayvanlar	TÜİK ikincil verileri kullanılmıştır.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır.	Amasya ilinin hayvansal atık potansiyelinden 2018 yılı verilerine göre, elde edilebilecek toplam elektrik enerjisi miktarı 90.474 MWh/yıl olarak belirlenmiş olup, ilçelerin potansiyelleri de göz önüne alınarak yatırım yapmak için coğrafik ve ulaşım kolaylıkları bakımından Merzifon ilçesi ve Amasya merkeze tesis kurulabileceği belirtilmiştir.
Öztürk (2019)	Aydın ilinin biyogaz enerji potansiyelinin saptanması amaçlanmıştır.	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, kanatlı hayvanlar	Aydın Tarım İl Müdürlüğü verileri ve TÜİK verileri kullanılmıştır.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır.	Aydın ilinde bitkisel ve hayvansal üretim ile yapılan hesaplamalara göre, 74 PJ'lük enerji potansiyelinin olduğu gözlenmektedir
Saz (2021)	Muğla ilinin ilçeleri genelinde üretilmesi muhtemel biyogaz potansiyeli hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında Muğla ilçelerine ait tarımsal üretim faaliyetleri ve bu faaliyetler sonucu oluşan atık miktarı, yaşam faaliyetleri sonucu oluşan evsel katık atı miktarları, park ve bahçe temizliği atıkları, il genelinde oluşan evsel arıtma çamuru miktarları belirlenmeye çalışılmıştır.	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, kanatlı hayvanlar, mısır, yem karışımı, yonca, arpa, ayçiçeği, buğday, evsel atıksu çamuru	TÜİK ikincil verileri kullanılmıştır.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır.	İl genelinde hayvancılık kaynaklı 3.030.740,17 GJ biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar göre il genelindeki arıtma tesisleri kaynaklı 64.499,88 GJ biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır. Toplam Muğla ili genelinde 5.598.874,15 GJ biyogaz potansiyeli hesaplanmıştır

Çizelge A 1. (devam). Ülkemizde biyogaz potansiyeli ile ilgili yapılan çalışmalar.

Yapılcan (2021)	Aksaray ilinin hayvan gübresi kaynaklı biyogaz üretim miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır.	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, kanatlı hayvanlar	TÜİK ikincil verileri kullanılmıştır.	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır.	Aksaray'ın hayvan gübresi kaynaklı biyogaz üretim miktarı 102 milyon m ³ /yıl ve toplamda elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyelinin 480 milyon kWh/yıl olduğu bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca Aksaray'a ait toplam hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli ile 129 370 kişinin elektrik 60 tüketimi karşılanabilmektedir. Bu rakam nüfusun %31'ine karşılık geldiği sonucuna ulaşılmıştır.
Cantekin (2022)	Trakya Bölgesi'nde biyogaz üretim miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır.	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, kümes hayvanları, buğday, mısır, arpa, çavdar ayçiçeği, arıtma çamurları, mutfak atıkları	TÜİK ikincil verileri kullanılmıştır	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır.	Bu çalışma kapsamında 2020 yılındaki elde edilen verilerle 95 milyon m ³ biyogaz ile 447 milyon KWh elektriğe dönüştürülerek 147.353 kişilik hanenin yıllık elektrik ihtiyacını karşılayabileceği saptanmıştır.

Çizelge A 1. (devam). Ülkemizde biyogaz potansiyeli ile ilgili yapılan çalışmalar.

Oflaz (2023)	İzmir’de biyogaz potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır.	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, kümes hayvanları, mısır	TÜİK ikincil verileri kullanılmıştır	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır.	İzmir’de yapılan tahmini hesaplamalara göre bitkisel ve hayvansal üretiminden kaynaklı yaklaşık 94 PJ’lük enerji potansiyelinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada belirlenen atık miktarlarına göre, atık enerjisinin %92’si İzmir’de yetişen mısır bitkisinden karşılandığı ve bitkisel atıklardan yaklaşık olarak 88,15 PJ ısı değeri ortaya çıkarken, hayvansal atıklardan ise 5,86 PJ enerji açığa çıktığı belirlenmiştir.
Özdemir (2023)	Gaziantep ili için 2017-2021 yılları arasındaki büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvanları verileri kullanılarak Gaziantep ili ilçelerinin biyogaz potansiyeli, CO ₂ salım azaltım miktarı belirlenerek; Gaziantep ilinde saatlik metan üretimi 50 m ³ olan biyogaz tesisi tasarımı	Büyükbaş hayvanlar, küçükbaş hayvanlar, kümes hayvanları	TÜİK ikincil verileri kullanılmıştır	Biyogaz enerji eşdeğeri hesaplama yöntemi kullanılmıştır.	Gaziantep ilinin ilçeleri içerisinde 8744,64 m ³ ile en yüksek metan oranına sahip Şehitkamil ilçesidir. Saatlik 50 m ³ metan üretimine sahip biyogaz tesisi tasarlandığında 1575 MWh’lik elektrik enerjisi üretimi yapılabileceği ve elde edilen elektrik enerjisi ile yılda 3.216,5 ton CO ₂ salımın azaltımı sağlanabileceği belirlenmiştir.

Çizelge A 2. Aksaray ili genel hesap bilançosu.

Atık Miktarı			Gaz Debileri			Enerji Miktarları			Güç	Sera gazı azaltım	Digestat miktarları	
BHA _i , dekar	BTA _i , ton KM/yıl	BTA _i , ton/yıl (yaş)	BMP _i , m ³ CH ₄ /yıl	TGP _i , m ³ Biyogaz /yıl	BTE _{ikj} , kWh/yıl	BTE _{ie} , kWh/yıl	BTE _{ısı} , kWh/yıl	P, MW	KA _{TA} , CO ₂ /yıl	ton	Katı digestate, ton/yıl	Sıvı Digestat, ton/yıl
569071	73979	86022	13461409	25887324	120425762	53522561	66903201	6,67	53523		14795,85	59183
1176330	94106	107550	12772121	24561770	114259391	50781952	63477439	6,32	50782		18821,28	75285
327330	242224	281656	31741059	61040498	283955515	126202451	157753064	15,72	126202		48444,84	193779
200	35	40	4701	9041	42058	18693	23366	0,00	19		6,93	28
98433	17718	20602	3685580	7087653	32971195	14653864	18317330	1,82	14654		3543,59	14174
46590	13977	16444	1506721	2897540	13479122	5990721	7488401	0,75	5991		2795,40	11182
146680	117344	488933	24301942	33519921	217405177	96624523	120780654	12,03	96625		23468,80	93875
2364634	559383	1001247	87473532	155003747	782538220	347794765	434743456	43	347795		111877	447507
HS _i , adet	HTA _i , ton KM/yıl	HTA _i , ton/yıl (yaş)	HMP _i ,m3 CH4/yıl	TGP _i , m ³ Biyogaz/yıl	HTE _{ikj} , kWh/yıl	HTE _{ie} , kWh/yıl	HTE _{ısı} , kWh/yıl	P, MW	KA _{TA} , CO ₂ /yıl	kg	Katı digestate, ton/yıl	Sıvı Digestat, ton/yıl
63783	19661	131074	3145778	5242963	28142126	12507612	15634514	1,56	12508		3932,22	15729
73778	53065	353766	8490372	14150620	75954870	33757720	42197150	4,20	33758		10612,97	42452
208814	214556	1430376	34329022	57215036	307107427	136492190	170615237	17,00	136492		42911,28	171645
76199	1857	7429	111441	247647	996952	443090	553862	0,06	443		371,47	1486
869671	29508	98360	1770476	3934392	15838680	7039413	8799267	0,88	7039		5901,59	23606
89660	1531	6125	375136	625227	3355970	1491542	1864428	0,19	1492		306,23	1225
151800	1766	7063	432624	721041	3870257	1720114	2150143	0,21	1720		353,16	1413
1533705	321945	2034193	48654849	82136925	435266282	193451681	241814601	24,1	193452		64389	257556
3898339	881328	3035440	136128382	237140672	1217804502	541246445	676558057	67,4	541246		176266	705062

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Beyza ÜSTÜNSOY

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü,
2010-2016

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre
Mühendisliği Anabilim Dalı, 2022-2024

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Zorlu Çevre Teknolojileri Müşavirlik Müh San ve Tic 2015/2016
2. Afyon Enerji ve Gübre Üretim A.Ş 2016/2017
3. Yapılcanlar Biyogaz Elektrik Santrali, 2017/2018
4. Akay Çevre Danışmanlık Hizmetleri 2018/2018
5. EGS Çevre Danışmanlık 2018/2019
6. İnova Tanıtım Hizmetleri ve Çevre Danışmanlık LTD. ŞTİ. 2019/2023

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

Kongrelerde Sunulan Bildiriler

1. Çolak B. Işık M., Özcan S. 2018. 3. International Conference on Civil and
Environmental Engineering (ICOCEE) Konferansı, 24-27 Nisan 201.