



ÇAD ÜLKESİ ORGANİK KAYNAKLI ATIK BİYOGAZ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Abdoulaye BOUHARI MOCTAR NJOYA

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Volkan AKSAY**

**ÇAD ÜLKESİ ORGANİK ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

Abdoulaye BOUHARI MOCTAR NJOYA

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Volkan AKSAY**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2023**

Abdoulaye Bouhari MOCTAR NJOYA tarafından hazırlanan “ÇAD ÜLKESİ ORGANİK ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Volkan AKSAY
Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 07/06/2023

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Volkan AKSAY (KBÜ)
Üye : Doç. Dr. Abdülsamed TABAK (NEÜ)	Çevrimiçi

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Abdoulaye Bouharı MOCTAR NJOYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇAD ÜLKESİ ORGANİK ATIK KAYNAKLI BİYOGAZ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Abdoulaye Bouhari MOCTAR NJOYA

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr.Üyesi Mehmet Volkan AKSAY

Haziran 2023, 67 sayfa

Bu çalışmada biyogazın anaerobik fermantasyonla oluşumu, üretimini etkileyen faktörler, biyogazın kullanım alanları, tesis teknolojisi, biyogaz üretimde kullanılan hammaddeler ve ÇAD ülkesinin biyogaz potansiyeli incelenmiştir.

Bu çalışmada ÇAD'ın hayvansal atık, tarımsal atık, katı atık, kentsel atıksu arıtma çamuru gibi kaynakların biyogaz potansiyelleri ve bu potansiyellerden elde edilebilecek elektrik miktarları hesaplanmıştır ve tüketilen elektrik miktarları göz önünde bulundurularak karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Yenilenebilir enerji, biyokütle enerjisi, biyogaz, atık yönetimi.

Bilim Kodu : 92801

ABSTRACT

Master Thesis

BIOGAS POTENTIAL OF CHAD COUNTRY

Abdoulaye Bouhari MOCTAR NJOYA

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Mehmet Volkan AKSAY

June 2023, 67 pages

In this study, the formation of biogas by anaerobic fermentation, factors affecting its production, areas of use of biogas, plant technology, raw materials used in biogas production and biogas potential of the country of Chad were examined.

In this study, the biogas potentials of resources such as animal waste, agricultural waste, solid waste, municipal wastewater treatment sludge and the amount of electricity that can be obtained from these potentials have been calculated and their comparisons have been made considering the amount of electricity consumed.

Key Words : Renewable energy, biomass energy, biogas waste management.

Science Code : 92801

TEŞEKKÜR

Çalıőmamda bana yön gösteren, gece gündüz demeden destek ve emeklerini esirgemeyen, beni yüreklendiren, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Volkan AKSAY'a sonsuz Teşekkürlerimi sunarım.

Bana hayatı boyunca maddi ve manevi olarak desteklerini esirgememiş olan Canım Annem'e, Hayatım ve tüm öğrenim süreci boyunca yanımda olan canım Babam'a yürektek teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her konuda yanımda olan maddi manevi hiçbir desteği benden esirgemeyen ve bugünlere gelmemi sağlayan Ağabeylerim'e, Ablam'a, kardeşlerim'e Teyzem'e ve tüm ailem'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmam süresince yanımda olan sevgili eşime ve can dostlarıma sonsuz Teşekkür ederim

Ayrıca her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini her an arkamda hissettiğim tüm aileme ve sevdiklerime herkese sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. ENERJİ	1
1.2. DÜNYA'DAKİ ENERJİ DURUMU	5
1.3. ÇAD'IN ENERJİ DURUMU	8
BÖLÜM 2	14
BİYOKÜTLE.....	14
2.1. BİYOKÜTLE TEKNOLOJİLERİ	15
2.2. BİYOKÜTLE KAYNAKLARI	17
2.3. DÜNYA'DA BİYOKÜTLE.....	20
2.4. ÇAD'DA BİYOKÜTLE.....	21
2.5. BİYOYAKITLAR.....	22
2.5.1. Katı Biyoyakıtlar	22
2.5.2. Sıvı Biyoyakıtlar	23
2.5.3. Gaz Biyoyakıtlar	23

BÖLÜM 3	25
BİYOĞAZ.....	25
3.1. BİYOĞAZ ÜRETİMİ	26
3.1.1. Anaerobik Sindirim	26
3.1.2. Anaerobik Sindirimi Etkileyen Faktörler	31
3.2. BİYOĞAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER.....	41
3.3. BİYOĞAZ KULLANIM ALANI	42
3.4. BİYOĞAZIN AVANTAJ ve DEZAVANTAJLARI.....	43
3.5. DÜNYA'DAKİ BİYOĞAZ KULLANIMI.....	44
3.6. ÇAD'IN BİYOĞAZ POTANSİYELİ	45
3.6.1. Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli	47
3.6.2. Tarımsal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli	49
3.6.3. Kentsel Katı Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli	52
3.6.4. Kentsel Atık Su Arıtma Çamuru Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli.....	55
BÖLÜM 4	57
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	57
KAYNAKLAR	58
EK AÇIKLAMALAR A. TABLOLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Enerji kaynakları.....	5
Şekil 1.2. Bölgelere göre doğalgaz ve petrol tüketimi.....	6
Şekil 1.3. Afrika haritası.....	8
Şekil 1.4. Çad kaya gazı ve kaya petrolü havzası	9
Şekil 1.5. Djerma Solar tesisi	12
Şekil 2.1. Biyokütle kaynakları ve biyoyakıt üretimi.....	14
Şekil 2.2. Biyokütle yakma işlemleri.....	15
Şekil 2.3. Biyokütle gazlaştırma işlemi.....	16
Şekil 2.4. Biyoetanol üretimi	17
Şekil 2.5. Biyodizel üretimi.....	17
Şekil 2.6. Biyokütle kaynakları.....	18
Şekil 2.7. Çad biyokütle potansiyeli.....	21
Şekil 2.8. Biyoyakıt çeşitleri.....	22
Şekil 2.9. Peletler.....	22
Şekil 2.10. Biyoetanol hammadde kaynakları.....	23
Şekil 3.1. Anaerobik sindirim süreci.....	28
Şekil 3.2. Sıcaklığın biyogaz üretimine etkisi.....	31
Şekil 3.3. Amonyak konsantrasyonunun etkisi.....	34
Şekil 3.4. Sürekli karıştırmalı reaktör	39
Şekil 3.5. Anaerobik bölmeli reaktör	39
Şekil 3.6. Bölgelere göre tahmini biyometan üretimi.....	44
Şekil 3.7. Ekonomik aktiviteler.....	46
Şekil 3.8. Çöp döküm sahası.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. ABD'nin Çad'dan ham petrol ve petrol ürünleri ithalatı (Bin Varil).....	10
Çizelge 1.2. Kaynaklarına göre enerji üretim miktarları.....	11
Çizelge 3.1. Metan üretimi için gübre karakteristikleri.	48
Çizelge 3.2. Çad toplam gübre ve metan potansiyeli.....	49
Çizelge 3.3. Çad ülkesi tarımsal ürünler ekilen alanları.	50
Çizelge 3.4. Tarımsal atıkların metan potansiyeli.....	51
Çizelge 3.5. Çad Ülkesi tarımsal atık kaynaklı metan potansiyelleri.	51
Çizelge 3.6. Encemene'da kentsel katı atık kaynaklı biyogaz potansiyeli.	54
Çizelge 3.7. Encemene'de kentsel atıksu arıtma çamuru kaynaklı biyogaz potansiyeli.....	56
Çizelge 4.1. Çad biyogaz kaynaklı elektrik potansiyeli.....	57
Çizelge Ek A.1. Tezde kullanılan tarımsal verilerin Tarım Bakanlık'tan orijinalı...	66
Çizelge Ek B.1. Tezde kullanılan hayvansal verilerin Hayvan Bakanlık'tan original hali.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO : karbonmonoksit

CO₂ : karbondioksit

CH₄ : metan

H₂S : hidrojen sülfür

NH₃ : amonyak

NH₄ : amonyum

KISALTMALAR

- AB : Avrupa Birliği
- AFREC : African Energy Commission (Afrika Enerji Komisyonu)
- BP : Brent Petrol
- CNPC : China National Petroleum Corporation (Çin ulusal petrol ortaklığı)
- EN : European Norm (Avrupa Normu)
- EHRC : Environmental Remediation Holding Corporation (Çevresel İyileştirme Holding A.Ş.)
- E&P : Exploration & production (Araştırma & Üretim)
- HRT : Hydraulic Retention Time (Hidrolik bekletme süresi)
- IEA : International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
- OPEC : Organization of the Petroleum Exporting Countries (Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü)
- SDG : The Sustainable Development Goals (Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi)
- SHT : Societe Des Hydrocarbures Du TCHAD (Çad Petrol Şirketi)
- VFA : Volatile Fatty Acid (Uçucu yağ asitleri)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. ENERJİ

Enerji, insanın hayatta kalmasını ve sosyal ilerlemesini destekleyen doğada bulunan bir kaynaktır. İnsanoğlu ateşi ilk kez kullandığından beri enerji, su ve yiyecek insanın onsuz yaşayamayacağı üç unsur haline gelmiştir [1].

İki itici güç, teknolojik ilerleme ve sosyal uygarlık, enerji gelişimini teşvik eder. Küresel enerji yapısı iki dönüşümden geçmiştir: ilk dönüşüm, odundan kömüre enerji devrimini gerçekleştirir ve ikinci dönüşüm, kömürden petrol ve doğal gaza geçişi tamamlar [1].

Günümüzde insanlık, geleneksel fosil yakıtlardan yeni enerjiye dönüşen üçüncü önemli dönüşümü yaşamaktadır. Enerji Kalkınma Kanunu'na göre enerji kaynağı, şekil itibariyle katı fazdan (odun + kömür) ve sıvı fazdan (petrol) gaz fazına (doğal gaz) geçmiştir [1].

Karbon sayısı açısından enerji kaynağı yüksek karbonlu (odun + kömür) ve orta-düşük karbonlu (petrol + doğal gaz) karbonsuz (yeni enerji) kaynaklara kaymıştır [1].

Gelecekteki gelişme, üç ana eğilimle, kaynak tipi karbon azaltımı, üretim teknolojisinin yoğunlaştırılması ve kullanım yönteminin çeşitlendirilmesi ile birlikte ilerleyecektir [1].

Şu anda, küresel enerji, fosil enerjide düşük karbonlu bir devrimden, yeni enerjide büyük ölçekli bir devrimden ve enerji yönetiminde akıllı bir devrimden geçmektedir. Üç enerji devrimi, "yeni kömür", "yeni petrol ve gaz" ve "yeni elektrik şebekesi" oluşumunu hızlandırmak için aynı anda ilerlemektedir [1].

Dünya çapında bir milyardan fazla insanın elektriğe temel erişimden yoksun olduğu düşünüldüğünde (IEA, 2017), enerji yoksulluğu küresel toplumların karşı karşıya olduğu en büyük sorunlardan biri olarak durmaktadır [2].

İyileştirmelere rağmen, araştırmacılar bu zorluğun 2030'dan sonra da devam edeceğini ve yaklaşık 674 milyon insanın hala elektriğe erişmeye ihtiyaç duyduğunu düşünmektedir [2].

Enerji yoksulluğu, yemek pişirme ve aydınlatma gibi belirli temel görevleri yerine getirmek için gereken modern enerjiye yeterli erişimin olmaması olarak tanımlanmaktadır [2].

Buna göre, enerji fakiri haneleri enerji fakiri olmayan hanelerden ayıran temel faktörlerden biri enerjiye erişim ve enerji tüketimidir [2].

Sınırlı ve tutarsız elektrik arzı, yüksek fiyatlar ve hatalı enerji altyapısı gibi faktörler enerji yoksulluğuna yol açabilir ve geçim kaynaklarının her yönünü etkileyebilir[2].

Birleşmiş Milletler (BM) üye devletlerine enerji yoksulluğuyla ilgili kuruluşlar tarafından uygulanan baskının ardından, 2030 yılına kadar herkesin modern enerji hizmetlerine erişimini güvence altına alma taahhüdü sürmektedir. Bu doğrultuda enerji için Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (SDG 7), 2030 için önemli hedefleri vurgulamaktadır [2]:

“Modern enerji hizmetlerine evrensel erişimi sağlamak; yenilenebilir enerjinin küresel enerji karışımındaki payını önemli ölçüde artırmak; ve enerji verimliliğindeki küresel iyileşme oranını ikiye katlamak” [2].

Bu nedenle, enerji yoksulluğunu ele almak, gelişmekte olan ve gelişmiş ülkelerde araştırma ve uygulama için giderek daha önemli bir gündem haline gelmiştir [2].

Enerji, eylem, kuvvet ve süre ile ilgili bir kavramdır: bir eylemin uygulanması, bu değişime karşı çıkan atalet ve direncin üstesinden gelmek için yeterli bir süre boyunca

sürdürülecek belirli bir miktarda kuvvet gerektirir. Öngörülen eylemi nihai olarak gerçekleştirmek için gerekli olan enerji hem kuvveti hem de uygulandığı süreyi açıklar [3].

Mesafeler nasıl inç, metre, mil, mikron ya da ışık yılı cinsinden ölçülebiliyorsa, enerji de pek çok farklı birimle ölçülebilir: joule, kalori, İngiliz ısı birimi, kilovat-saat ve elektron-volt gibi [3].

Bu kadar çok farklı enerji birimi olmasaydı hayat daha basit olabilirdi, ancak tüm bu üniteler mükemmel nedenlerle kullanılmaya başlandı ve her eğitilmiş insanın en azından en yaygın enerji birimlerini ve bir miktar enerjinin nasıl dönüştürüleceğini öğrenmek için enerjiyi bir ölçü biriminden diğerine dönüştürmektedir. Uluslararası alanda bilimsel çalışmalar için kabul edilen resmi enerji birimi joule'dür, Bir joule oldukça küçük bir enerji miktarıdır, kabaca çok hafifçe fırlatılan bir beyzbol topunun kinetik enerjisine veya yerçekimi enerjisine eşittir. Bir beyzbol topunu iki fit (70 santimetre) kaldırdığınızda ona verdiğiniz değere eşittir [4].

Enerji formları, farklı enerji kaynaklarının tezahürleridir. İnsanlar tarafından bir dönüşüm veya dönüşüm süreci yoluyla nihai enerjiyi (insanlar tarafından tüketilebilir) üretmek için kullanılan başlıca 7 enerji biçimi vardır:

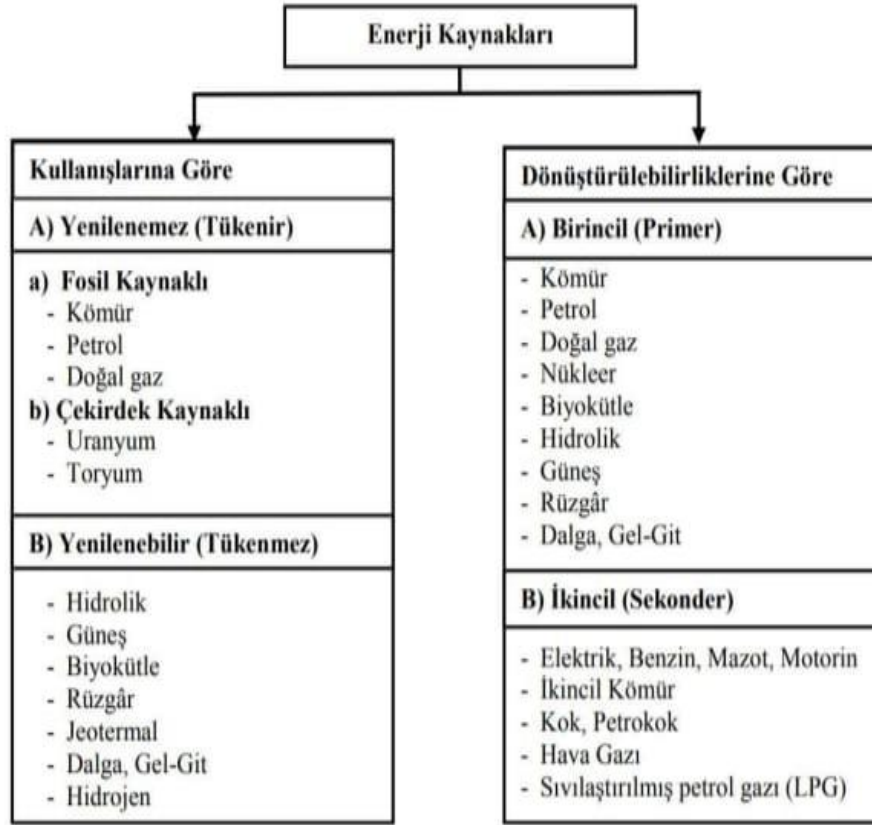
- **Mekanik enerji:** Bir sistemin mekanik enerjisi, kinetik enerjisi ile potansiyel enerjisinin toplamıdır [5].
- **Kinetik enerji:** Bir cismin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjidir [6]. Nesnenin hızı ne kadar yüksek olursa o kadar fazla kinetik enerjiye sahip olur [7].
- **Potansiyel enerji:** Bir cismin konumundan dolayı sahip olduğu enerjidir [8].
- **Termal enerji:** Termal enerji ısı olarak kendini gösterir. Madde içindeki moleküllerin ve atomların çalkalanmasından meydana gelen enerjidir [9].
- **Işınım veya ışık enerji:** Güneş radyasyonunun elektromanyetik dalgalarında bulunur. Bu dalgaların görünen kısmı, Güneş'in bizi aydınlatmak için yaydığı ışık gibi kendini gösterir. İnsan günlük yaşamında, bir tabağı ısıtmak için mikrodalga fırın veya bir elektrik ampulünün ışığı aracılığıyla ışıma enerjisini

yeniden yaratmayı başarmıştır. Güneş enerjisi, termal enerji (güneş termal) üretebilen veya elektriğe (fotovoltaik paneller) dönüştürülebilen bir radyan enerji şeklidir [7].

- **Kimyasal enerji:** Molekülleri oluşturan atomlar arasındaki bağlar koptuğunda kimyasal enerji açığa çıkar. Bunlara ekzotermik reaksiyonlar denir. Petrol, gaz ve hatta kömürün yanması kimyasal enerjiyi ısı ve ışığa dönüştürür [9].
- **Nükleer enerji:** Nükleer enerji, radyoaktif bir metal olan uranyumdan üretilir. Başlıca kullanımını elektrik üretimine adanmıştır. Nükleer enerji, tıp gibi diğer faaliyet alanlarında da uygulanmaktadır [9].
- **Elektrik enerjisi:** Bir iletkendeki elektronların hareketinden gelir. Bu, elektrik yüklerinin iki sistem arasındaki hareketidir (enerji transferi olarak da adlandırılır). Böylece elektrik enerjisinin dönüştürülmesi, iki tür sistem arasında somut olarak kendini gösterir: jeneratörler (veya tedarikçiler) ve alıcılar [7].

Kaynak olarak enerji iki grup olarak ayrılır [10].

- Yenilenebilir enerji
- Yenilenemez enerji



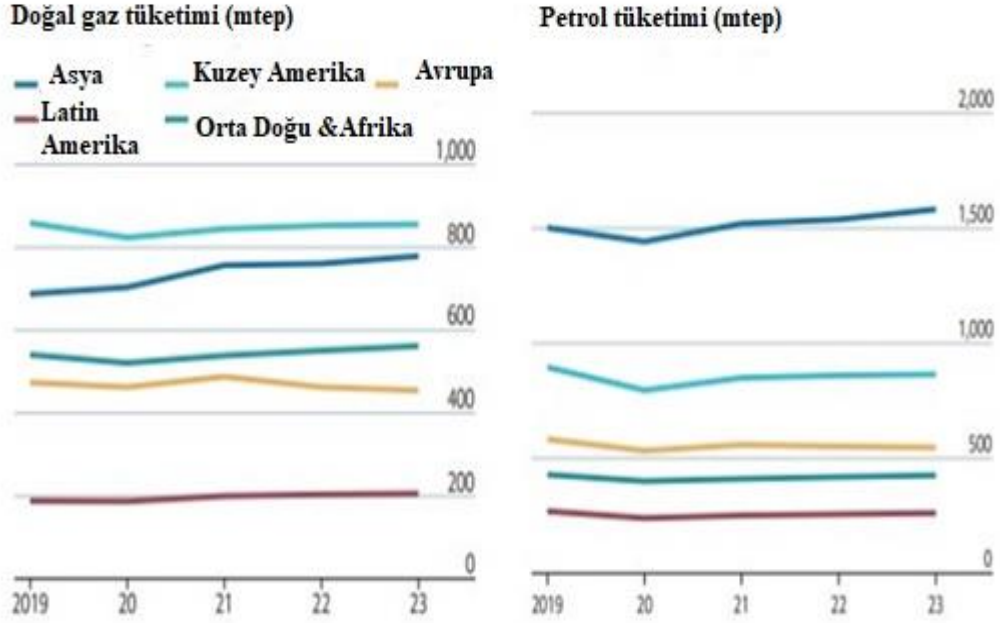
Şekil 1.1. Enerji kaynakları.

1.2. DÜNYA'DAKİ ENERJİ DURUMU

Enerjiye erişilebilirlik son birkaç yüzyılda insanlığın gidişatını değiştirmiştir. Önce fosil yakıtlar, ardından nükleer, hidroelektrik ve şimdi de diğer yenilenebilir teknolojilerle çeşitlenen yeni enerji kaynaklarının kilidi açılmakla kalmadı, aynı zamanda üretebildiğimiz ve tüketebildiğimiz miktar da artmıştır [11].

Karantina önlemleri elektrik talebini önemli ölçüde azaltmış ve elektrik karışımını etkilemiştir. Konut talebindeki artışlar, ticari ve endüstriyel faaliyetlerdeki düşüşlerden çok daha ağır basmıştır. Küresel elektrik talebinin üçte birinden fazlasını temsil eden 30'dan fazla ülke için toplanan günlük veriler, talep düşüşlerinin boyutunun karantina süresine ve sıklığına bağlı olduğunu göstermektedir. Ortalama olarak, tam karantina uygulanan her ayın talebi ortalama %20 veya yıllık bazda %1,5'in üzerinde azaldığı tespit edilmiştir [12].

Bölgelere göre doğal gaz ve petrol tüketimi, 2019-2023



Şekil 1.2. Bölgelere göre doğalgaz ve petrol tüketimi.

Toplam enerji tüketiminin 2022'deki %2,2'den 2023'te %1,3'e düşerek 2021'deki toparlanmanın ardından art arda ikinci kez yavaşlayacağı öngörülmektedir (Şekil 1.2). Bu durum, 2022'den bu yana küresel ekonomideki yavaşlamadan, oldukça dalgalı seyreden enerji fiyatlarından ve Rusya'dan gelen gaz ve petrol arzındaki azalmadan kaynaklanmaktadır. Buna ek olarak, Çin ekonomisinin devam eden zayıflığı, Avrupa'nın enerji krizi ve Avrupa'daki enerji krizi ve ABD dolarının gücü gibi faktörler ağır basmaktadır. Özellikle Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) petrol talebinin 2022 yılında 2,1 bin varil/gün'e 2023 yılında 1,6 bin varil/gün'e yavaşlamasını beklenmektedir. Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC), jeolojik gelişmeler sayesinde küresel petrol talebinin 2022'de 2,5 bin varil/gün' iken 2023'te 2,2 bin varil/gün ile neredeyse sabit kalmasını beklemektedir. Aynı zamanda, OPEC+ üyelerinin düşük üretimi ve Avrupa Birliği'nin (AB) 2022 sonlarında uyguladığı petrol yaptırımlarının bir sonucu olarak Rusya'nın düşük petrol ve gaz üretimi nedeniyle 2023 yılında enerji arzının düşmesi beklenmektedir. Nitekim yakın zamanda yapılan bir araştırma, üretim hedeflerinin azaltılmasına yönelik anlaşmaya rağmen OPEC petrol üretiminin Aralık 2022'de arttığını göstermiştir. Aralık ayında 13 OPEC ülkesi, Nijerya'nın öncülüğünde Kasım ayına göre 110.000 varil/gün artışla 28,98 milyon

varil/gün pompalarken, aralarında Rusya'nın da bulunduğu OPEC dışı 10 ortak 30.000 varil/gün artışla 13,73 milyon varil/gün pompalamıştır. Sonuç olarak, küresel durgunluk korkularının petrol fiyatlarını aşağı çekmesi muhtemeldir. Brent ham petrolünün ortalama fiyatının 2022'de varil başına 101 \$ iken 2023'te 83 \$'a ulaşması beklenmektedir [13].

BP'nin 'trend' senaryosunda ('New Momentum') küresel nihai enerji tüketiminin 2040'a kadar artacağı ve ardından istikrar kazanacağı öngörülmektedir (2050'de küresel talep 2019'dakinden %10 daha yüksek olacaktır). Diğer iki 'hızlandırılmış geçiş' senaryosunda BP, enerji verimliliğindeki hızlı ilerleme sayesinde 2050 yılında küresel nihai enerji tüketiminin 2019 seviyelerinin %15-30 altında olacağını tahmin etmektedir [14].

2018 yılında, Afrika'nın toplam nüfusunun yaklaşık yarısının (548 milyon kişi) elektriğe erişimi yoktu. Aynı yıl, Afrika kıtasında 900 milyon insan yemek pişirmek için özellikle odun kömürü ve yakacak odun şeklinde geleneksel biyokütle kullanımına dayanıyordu. Bu insanların çoğu Sahra altı Afrika'da yaşamaktadır. Buna ek olarak, Afrika'daki ticari faaliyetler (mikro işletmelerden tarıma ve sanayiye kadar) güvenilir ve uygun fiyatlı enerji kaynaklarının eksikliği nedeniyle engellenmektedir. Bu zorluklar ortak bir şekilde ele alınmadığı sürece daha da artacaktır. Nitekim tahminler, 2050 yılına kadar Sahra altı Afrika'da nüfusun 1 milyar, Kuzey Afrika'da ise neredeyse 100 milyon artacağını göstermektedir [15]

Kıtanın enerji sektörlerinden sadece birkaçı gelişmiş ekonomilerinkine karşılaştırılabilir sera gazı emisyonlarına sahiptir. Aslında, bu aşamada, toplam katkı Afrika'daki elektrik üretiminin iklim değişikliğine etkisi dünyadaki diğer bölgelerle kıyaslandığında mütevazıdır. Hatta kıta, dünya nüfusunun yaklaşık %17'sine ev sahipliği yapmaktadır, Afrika'da fosil yakıt kullanımından kaynaklanan toplam emisyonlar 2017 yılında küresel toplamın sadece %3,6'sını oluşturmuştur (IEA, 2019b). Ve en yüksek mutlak enerji tüketimine sahip dört ülke emisyonları mutlak olarak (Güney Afrika, Mısır, Cezayir ve Mısır, Cezayir ve Nijerya) denkleminden çıkarıldığında, geriye kalan Geri kalan emisyonlar (CO₂) Afrika ülkeleri küresel üretimin sadece %1'ini oluşturmaktadır[15]

Bununla birlikte, Afrika'nın yenilenebilir enerji potansiyelinden faydalanabilmesi ve fosil yakıtlara ticari bağımlılıktan kaçınabilmesi için modern ve verimli güç sistemlerine yatırım yapılması şarttır. Afrika'da düşük karbon hedefine ulaşmanın yolu sadece kirletici elektrik kaynaklarını yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirmekten geçmiyor: artan talebin fosil yakıt kaynaklarıyla karşılandığı bir senaryoyu önlemek için yeni uygun maliyetli yenilenebilir enerji güç sistemleri ve esnek, merkezi olmayan (şebeke dışı dahil) altyapı oluşturulmalıdır. Bu alanda piyasa güçleri işin bir kısmını yapabilir, çünkü yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyeti artık birçok durumda şebeke paritesinin altındadır, ancak yapılması gereken çok şey vardır. Bu bağlamda, Afrika'nın küresel CO₂ emisyonlarına çok az katkıda bulunmasına rağmen, iklim değişikliğinden en çok etkilenen kıtalar arasında yer alacağı unutulmamalıdır [15].

1.3. ÇAD'IN ENERJİ DURUMU

Çad kuzeyde Libya, doğuda Sudan, güneyde Orta Afrika Cumhuriyeti ve batıda Kamerun, Nijerya ve Nijer ile sınır paylaşmaktadır [16].

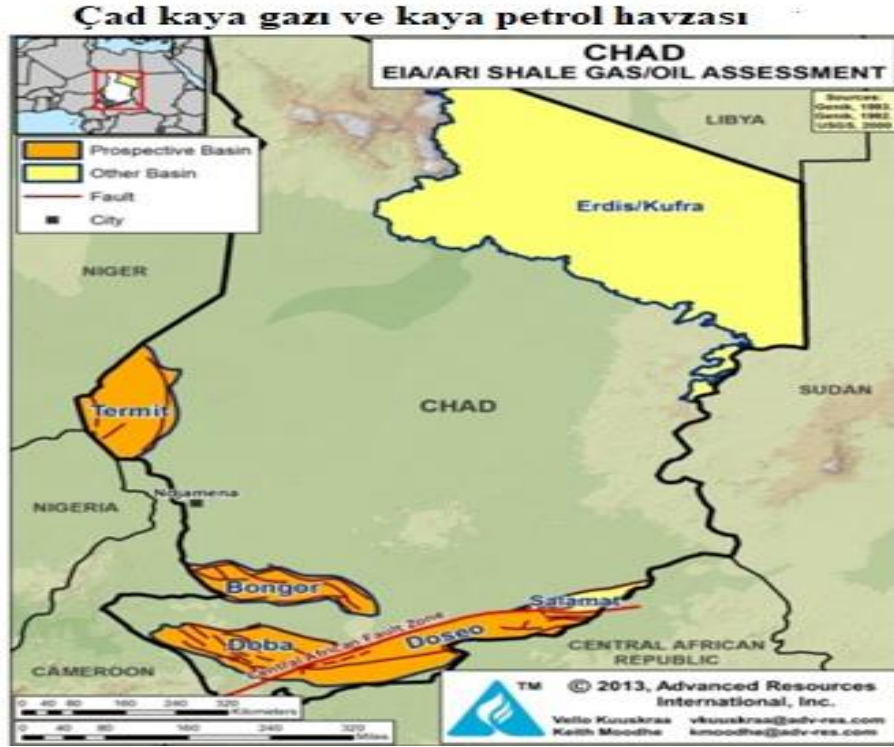


Şekil 1.3. Afrika haritası.

Çad, üç farklı petrol bölgesinde kaya gazı ve kaya petrolü potansiyeline sahiptir;

- Batıdaki kratonik Termit Havzası'nda (büyük Çad Havzası'nın bir parçası),
- Güneydeki dört Orta Afrika Rift Sistemi havzası Bongor, Doba, Doseo ve Salamat'ta,
- Kuzeydeki Erdis Havzası'nda (Libya'da Kufra Havzası olarak adlandırılır).

Bu Bölümde bu altı havzanın tamamı ele alınmaktadır, ancak veri kısıtlılığı nedeniyle kaynak değerlendirmesi bu havzalardan sadece dördünü - Termit, Bongor, Doba ve Doseo - niteliksel olarak ele almaktadır [17].



Şekil 1.4. Çad kaya gazı ve kaya petrolü havzası [17].

Günde 104.000 varil yıllık petrol üretimi ve 1,5 milyar varil kanıtlanmış petrol rezervi ile Çad, Orta Afrika'da yer alan mütevazı da olsa önemli bir petrol üreticisidir. Çad'da petrol arama çalışmaları ilk olarak 1969 yılında ConocoPhillips tarafından başlatılmış ve 1975 yılında Çad Gölü (Termit) Havzası ve Doba Havzası'nda keşiflerle sonuçlanmıştır. 1979'da bir iç savaşın patlak vermesiyle arama çalışmaları durmuştur. Daha sonra, petrol şirketlerinden oluşan bir konsorsiyum, Doba Havzası'ndaki petrol

sahalarını geliştirmek ve petrolü ihraç etmek üzere taşımak için uzun vadeli bir imtiyaz almıştır [17] .

Birkaç işlemin ardından ExxonMobil, Chevron ve Petronas Konsorsiyum'a üye olmuş, 2,4 milyar dolarlık (ABD), 665 mil uzunluğunda, 225.000 varil/gün kapasiteli Çad-Kamerun petrol ihraç boru hattını inşa etmiş ve 2003 yılında petrol üretimine başlamıştır. Çin devlet petrol ve doğalgaz şirketi (CNPC), 2003 yılının sonlarında İsviçreli Cliveden şirketinden büyük keşif Bloğu H'yi satın alarak Çad'a girdi. Çad 2006 yılında ulusal petrol şirketi SHT'yi kurdu. Çad/SHT, 2010 yılında Model Üretim Paylaşım Sözleşmesi'nin yürürlüğe girmesinin ardından Griffiths Energy (şimdi Carcal), EHRC Energy, United Hydrocarbons Int. ve Simba Energy gibi yeni bir dizi küçük, agresif araştırma ve üretim (E&P) şirketine arama imtiyaz alanları ve sözleşmeleri vermeye başlamıştır[17].

Çizelge 1.1. ABD'nin Çad'dan ham petrol ve petrol ürünleri ithalatı (Bin Varil) [18].

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	523	1,054
2004	1,360	2,726	2,357	1,483	2,220	962	1,009	2,119	725	2,835	3,407	3,389
2005	2,510	3,655	2,216	2,878	2,233	5,280	3,298	3,614	1,957	3,821	1,740	2,372
2006	2,948	3,429	2,816	2,515	1,872	3,185	2,305	3,815	3,814	3,394	3,527	3,523
2007	2,267	2,436	2,072	2,411	957	2,390	1,904	1,911	2,942	2,984	3,205	2,921
2008	3,766	2,594	3,222	4,035	1,813	3,238	3,336	4,299	2,385	3,407	2,312	3,673
2009	2,639	3,220	2,931	2,761	4,433	3,118	510	1,462	1,436	502	1,068	1,054
2010	1,686	17	1,007	549	595	74	1,790	753	1,073	2,168	151	1,449
2011	1,730	1,436	952	1,219	1,700	2,618	1,923	1,006	2,224	827	1,409	1,429
2012	952	952			950	72	467	1,126	970	662	1,953	2,900
2013	1,913	600	2,275	1,906	1,910	2,021	2,381	2,498	2,268	1,429	1,409	3,334
2014	477	1,422	483	1,443	1,919	1,908	2,848	1,907	2,856	3,504	1,430	2,396
2015	2,898	2,854	955	2,375	2,386	1,902	3,332	1,431	2,858	2,394	1,900	949
2016	1,815	3,758	1,875	2,881	3,315	2,096	1,995	1,904	949	1,901	947	951
2017	951	902			6	1,330			1,902	1,066	2,809	1,497
2018	2,597	470	1,386			952			950	955		
2019	477	472				476	476					

Çad, Afrika'daki onuncu en büyük petrol rezervlerinin yanı sıra güneş ve rüzgar kaynakları potansiyeline sahiptir. Mevcut kapasitesinin çoğunluğu dizel, doğal gaz ve ağır fuel oil üretiminden gelmektedir. Çad'ın dikey entegre bir kamu hizmeti şirketi vardır: Societe Nationale d'Electricite, sürekli finansal desteğe ihtiyaç duymaktadır. Power Africa desteği, Çad'daki ilk bağımsız enerji üreticisi (IPP) projesi olan ve

ülkenin enerji arzının yaklaşık %10'unu temsil eden 32 MW'lık Djermaya Solar PV projesini ilerletmektedir [19].

Önemli fosil yakıt kaynaklarına ve bol güneş ışığına rağmen Çad, Sahra Altı Afrika'daki ortalama %48 ile karşılaştırıldığında %6,4 ile dünyadaki en düşük elektrik erişim oranlarından birine sahiptir. Temmuz 2020'de hükümet, 2030 yılına kadar %53'lük bir erişim oranına ulaşmak amacıyla bir Ulusal Acil Elektrik Planı (NEEP) uygulamaya koymuştur. Halihazırda uygulanmakta olan PAAET, Kamerun-Çad Güç Ara Bağlantı Projesi (CCPIP) ve Dünya Bankası tarafından finanse edilen enerji sektörü reformlarının Çad'ın NEEP hedeflerine ulaşmasına yardımcı olması beklenmektedir [15].

Çizelge 1.2. Kaynaklarına göre enerji üretim miktarları [19].

Enerji Kaynağı	Üretilen enerji
Gaz	120 MW
Rüzgar	1.1 MW
Güneş	0.7 MW
Termal	2 MW
Ağır yağlı yakıt	30 MW
Dizel	161 MW
Toplam	314 MW

Çad'ın kurulu elektrik üretim kapasitesi büyük ölçüde ağır fuel oil ve dizele dayanmaktadır. Sübvansiyonlara rağmen Çad'ın mevcut kapasitesi talebi karşılayamamaktadır ve Çad nüfusunun sadece %11,1'sinin elektriğe erişimi vardır [20] [21].

Bağlı şirketler ve haneler sık sık elektrik kesintileri yaşamaya devam etmektedir. Çad Cumhuriyeti Hükümeti, güvenilir ve uygun fiyatlı bir elektrik şebekesinin ülkenin sosyal ve ekonomik kalkınmasını güçlendireceğinin bilincindedir. Çad olağanüstü düzeyde güneş ışığına sahiptir (bazı bölgelerde 2.800 kWh/m²'ye kadar). Bu nedenle güneş enerjisi, ülkenin enerji sektörünü dönüştürmek için potansiyel bir çözüm olabilir, üretim maliyetlerini ve dolayısıyla sübvansiyon ihtiyacını azaltırken, hükümetin daha fazla insanı elektrik şebekesine bağlamasına olanak tanır [22].

Başkent N'Djamena'nın 30 km kuzeyindeki Djermaya güneş fotovoltaik santrali, Çad'daki ilk büyük ölçekli yenilenebilir enerji projesi ve ilk özel sektöre ait, finanse

edilen ve yönetilen enerji santrali olacaktır. Ülkeye önemli tasarruflar getirecektir. Güneş enerjisi santrali faaliyete geçtiğinde, ürettiği elektriğin maliyeti şu anda Çad'da üretilen elektriğin maliyetinin yarısından daha az olacaktır [23].

Djermaya Solar projesi, yenilenebilir enerjiyi Çad'ın ulusal elektrik şebekesine entegre etmek için aşamalı olarak geliştirilecektir. Bu ilk 34 MWp'lik dilim 2021 yılında gerekli finansmanı sağlamıştır. İnşaata 2022'nin başlarında başlaması ve üretimin 2023'te yapılması planlanmaktadır. Bunu, santralin kapasitesini 26 MWp daha artıracak ikinci bir aşama izleyecektir. Sistemin istikrarını daha da artırmak için proje, tek eksenli izleyiciler ve bir batarya enerji depolama sistemi (BESS) dahil olmak üzere en son teknolojiyi içerecek şekilde tasarlanmıştır. BESS sistemi, AB-Afrika Altyapı Güven Fonu'ndan (EU-AITF) 6,35 milyon Avro'luk bir yatırımdan yararlanacaktır. Djermaya Solar, tamamlandığında ülkedeki ilk bağımsız enerji üreticilerinden ve ilk ticari güneş enerjisi santrallerinden biri olacaktır [22].



Şekil 1.5. Djermaya Solar tesisi [24].

Elektriğin fahiş maliyeti ve kıtlığı Çad'ın ekonomik kalkınmasının önünde büyük bir engeldir. 2018 yılında toplam birincil enerji arzı 4 375 Ktoe olmuştur. Odun ve odun kömürü Çad'da tüketilen enerjinin %83'ünü sağlamaktadır ve LPG tüketimi artmaktadır ancak nüfusun yalnızca küçük bir yüzdesi bu enerji türünü kullanmaktadır.

Çad'da şu anda bir petrol arıtma faaliyeti bulunmaktadır ve 2018 yılında 683 ktoe üretmiştir [25].

Tüketimin büyük bir kısmı biyokütle ile karşılanmaktadır. Biyokütle: Tarımsal kalıntılar bölgede bol miktarda bulunmaktadır ve enerji üretimi için çok değerlidir. Şeker üreten bir ülke olarak Çad, şeker fabrikalarının iç ihtiyaçlarının fazlası olarak kojenerasyon yoluyla enerji üretimi için büyük miktarlarda küspeye sahiptir. Biyokütle, ülkenin kırsal nüfusunun çoğunluğu için ana enerji kaynağıdır. AFREC (The African Energy Commission) 2020 enerji dengesi, toplam nihai tüketimin biyoyakıtlar ve atıklar tarafından domine edildiğini ve %83'ünü oluşturduğunu, bunu sırasıyla %16 ve %1 ile petrol ürünleri ve elektriğin izlediğini göstermektedir [26].

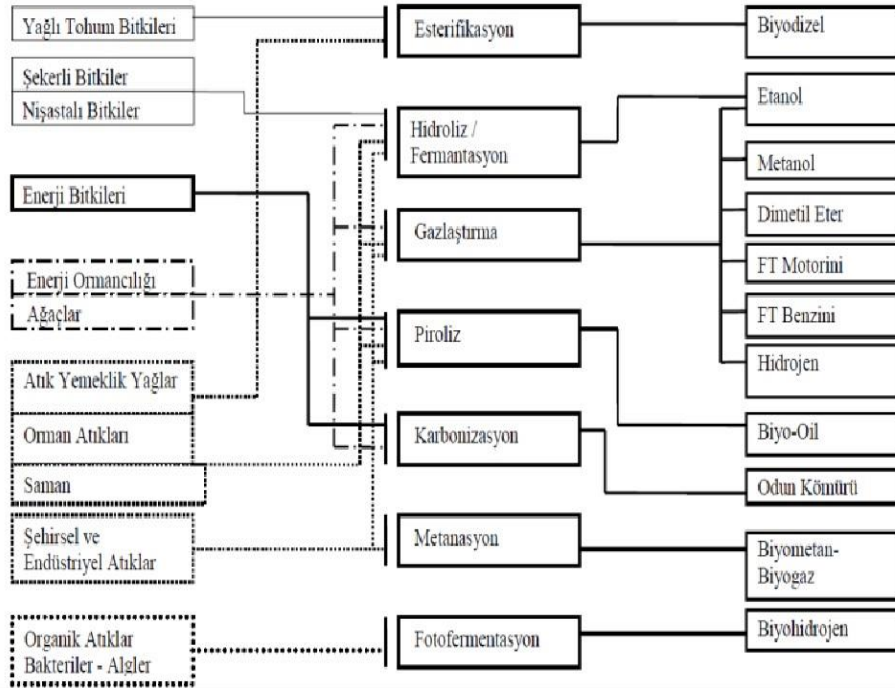
Çad'ın enerji erişimini artırma ve yoksulluğu azaltma becerisi, enerji sektöründeki önemli zorluklar nedeniyle kısıtlanmaktadır. Şu anda 15 milyondan fazla nüfusa hizmet vermek için sadece 314 MW kurulu üretim kapasitesine sahiptir. Sonuç olarak, Çad hükümeti elektrik arzını genişletmek ve ekonomiyi canlandırmak için enerji sektörüne yatırımı teşvik etmek için çalışmaktadır [19].

BÖLÜM 2

BIYOKÜTLE

Biyokütle terimi genel olarak belirli bir doğal ortamdaki canlı organizmaların toplam kütlesi olarak tanımlanır. Bu kavram 1973'teki ilk petrol krizinden bu yana enerji veya tarımsal amaçlarla kullanılan organik bitki ve hayvan ürünlerine uygulanmaktadır. Kısacası, bitki ve hayvan kökenli tüm organik maddelerin yanı sıra çeşitli dönüşümlerden elde edilen ürünleri (organik atık) ifade eder [27].

Biyokütlenin enerji amaçlı kullanımı sera etkisine katkıda bulunmaz, çünkü ayrıştırma veya enerji dönüşümü sırasında açığa çıkan CO₂ miktarı biyokütlenin büyümesi sırasında kullanılanla eşittir. Bu nedenle atmosferdeki CO₂ seviyelerinin artışına net bir katkısı yoktur [28].



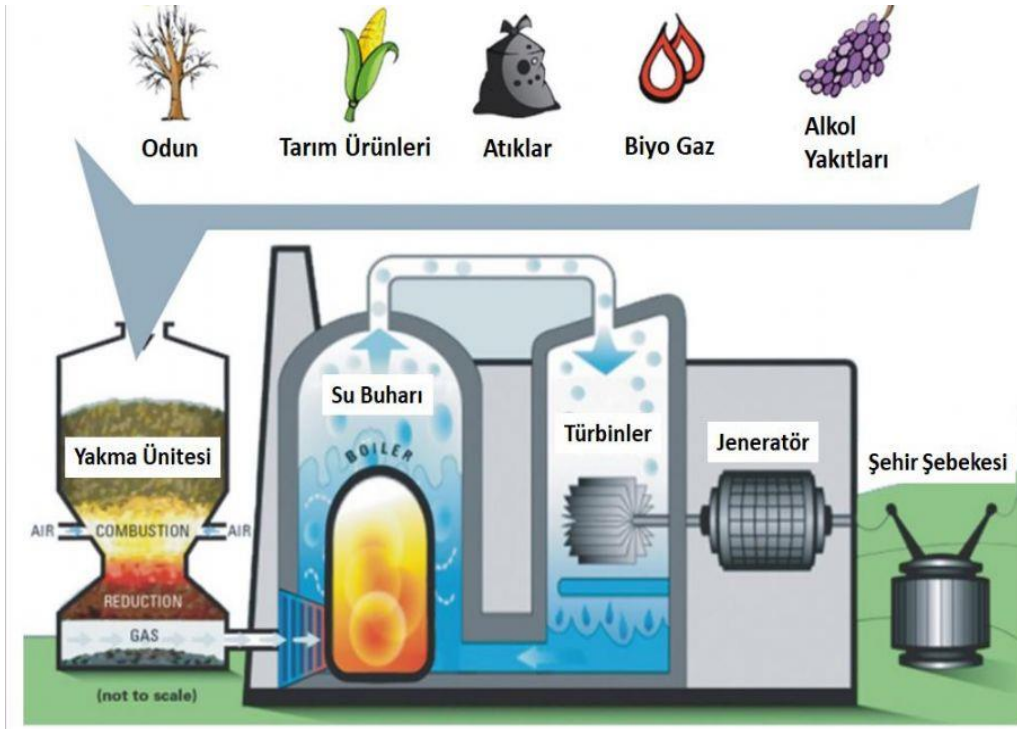
Şekil 2.1. Biyokütle kaynakları ve biyoyakıt üretimi.

2.1. BİYOKÜTLE TEKNOLOJİLERİ

Biyokütle kullanılmadan önce işlenmelidir. Temiz biyokütle parçalanır. Kirlenmiş biyokütle (kum, toprak, kayalar, vb.) öğütülür. Hammaddenin nem içeriği yakıtın enerji içeriğini belirler ve enerji verimi kurutularak %20-30 oranında artırılabilir. Kurutma ayrıca depolama sırasında kalitesini de korur [29].

Biyokütle enerjisi üç tür işlemle elde edilir:

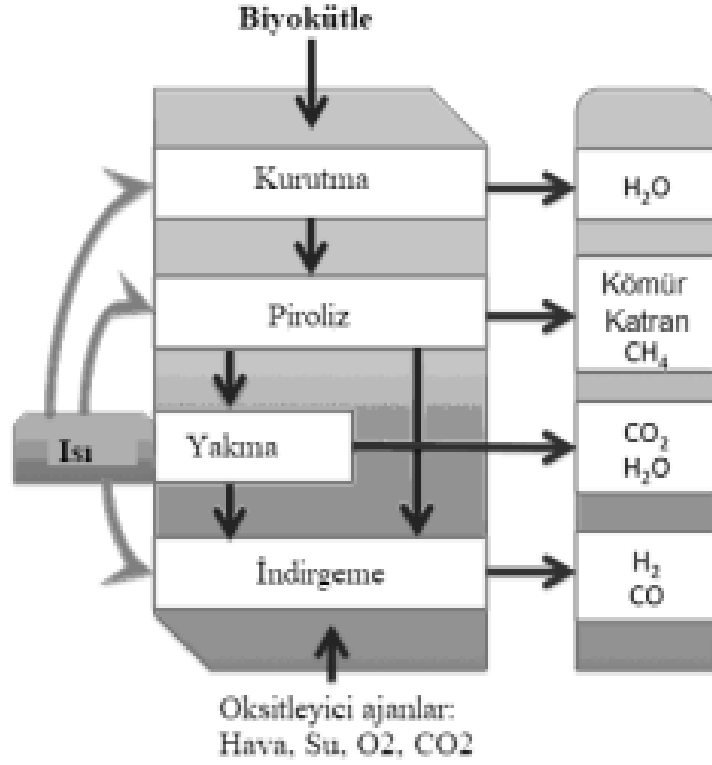
- **Yakma İşlemi:** en çok kullanılan üretim yöntemi olan odun yakıtının yakılmasıdır. Kuru odun atıkları biyokütle enerji santrallerinde ısı transfer sıvısını ısıtmak için yakılır. Bölgesel ısıtma şebekesinde veya türbinleri çalıştırmak için kullanılan buharı üretir, bu da elektrik üretmek için bir alternatörü çalıştırır [30].



Şekil 2.2. Biyokütle yakma işlemleri.

- **Gazlaştırma İşlemi:** Ana üretim yöntemi metanlaştırmadır. Organik maddenin (bozulabilir endüstriyel ve tarımsal atıklar, hayvancılık atıkları ve kanalizasyon

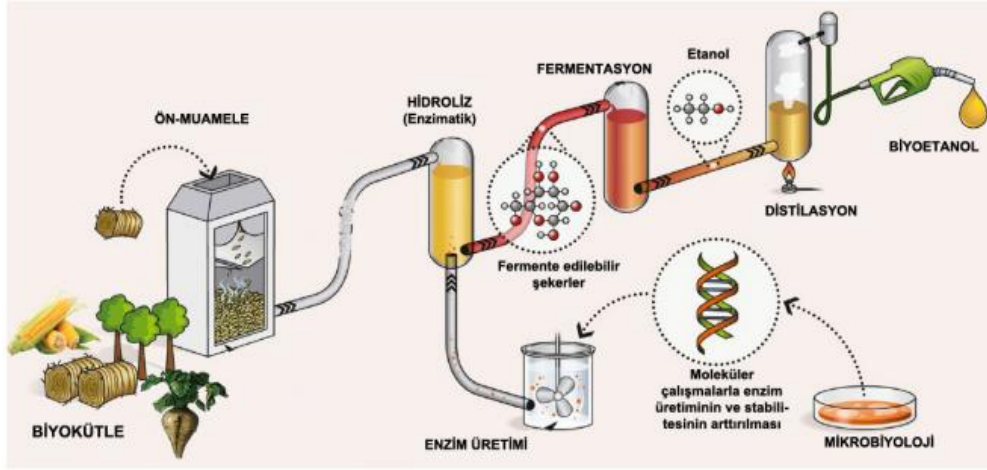
çamuru) mikro-organizmalar tarafından parçalanmasına (fermantasyon) dayanan doğal bir biyolojik sürecin büyük ölçekte kullanılmasından oluşur. Bu işlemde elde edilen biyogaz, ısı ve elektrik üretiminde ve bazı araçlarda yakıt olarak kullanılmaktadır [30].



Şekil 2.3. Biyokütle gazlaştırma işlemi.

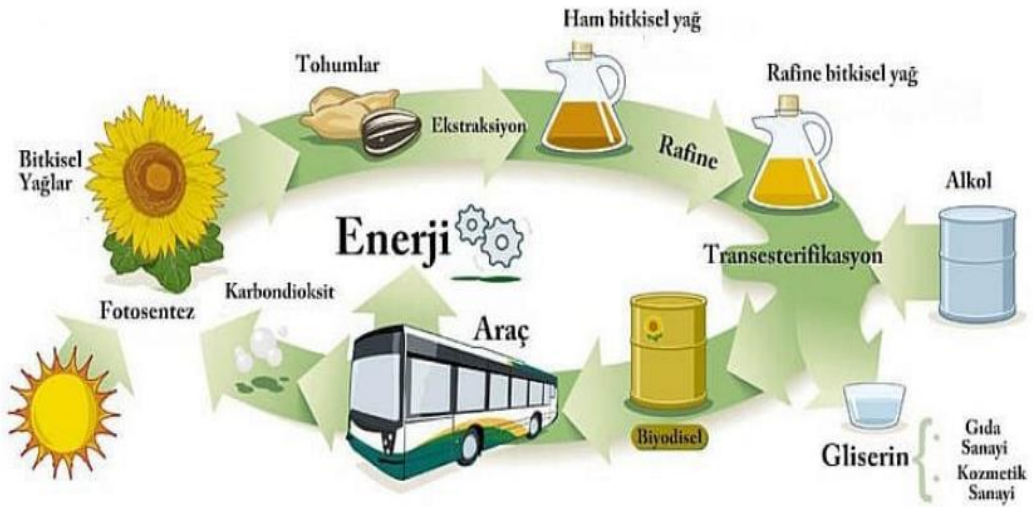
- **Sıvılaştırma işlemi:** Genelde şeker pancarı veya buğdaydan yapılan ve SP95 benzininde bulunan biyoetanol veya kolza yağı gibi bitkisel yağlardan yapılan biyodizel gibi biyoyakıtların üretimidir [30].

Biyoethanol üretimi: Biyoetanol tipik olarak glikoz gibi fermente edilebilir şekerlerin etanole mikrobiyal fermentasyonu yoluyla üretilir. Geleneksel hammaddeler (örneğin, birinci nesil hammaddeler) tahıl taneleri, şeker kamışı ve şeker pancarını içerir [31].



Şekil 2.4. Biyoetanol üretimi [32].

Biyodizel üretimi: Biyodizel bitkisel yağlardan, sarı gres yağından, kullanılmış yemeklik yağlardan veya hayvansal yağlardan üretilir. Yakıt, katı ve sıvı yağları biyodizel ve gliserine (bir yan ürün) dönüştüren bir süreç olan transesterifikasyon ile üretilir. [33]



Şekil 2.5. Biyodizel üretimi [34].

2.2. BİYOKÜTLE KAYNAKLARI

Enerji sektöründe biyokütle, enerjiye dönüştürülebilen hayvansal veya bitkisel kökenli tüm organik maddeleri ifade eder. Hammaddenin (odun ve kalıntıları, tarımsal ve organik atıklar) yenilenebilir bir enerji kaynağına dönüştürülmesi, ısı, elektrik veya

biyoyakıt üretmek için fosil yakıtlara (gaz, kömür, petrol) bağımlılığa alternatif bir çözümdür [30].



Şekil 2.6. Biyokütle kaynakları [35].

Biyokütlenin kaynakları [36]:

- Tarımsal atıklar
- Evsel atıklar
- Ormansal atıklar
- Kanalizasyon atıkları
- Endüstriyel atıklar
- Hayvansal atıklardır.

Biyokütle Enerjisinin Avantajları

- Biyokütle enerjisi, fosil yakıtlara göre daha az CO₂ yayma gibi büyük bir avantaja sahiptir. Bununla birlikte, bir biyokütle tesisinin karbon ayak izi kullanılan biyoyakıta bağlı olarak değişir [37].
- Orman biyokütlesinin nispeten düşük ve istikrarlı yatırım maliyetleri [38].
- Biyoatık doğal ve çevre dostudur ve ondan elde edilen kül mükemmel bir organik gübredir.[39]
- Kullanılmadan önce biyokütlenin işlenmesi gerekir. Temiz biyokütle parçalanır. Kirlenmiş biyokütle (kum, toprak, kayalar, vb.) öğütülür. Hammaddenin nem içeriği yakıtın enerji içeriğini belirler ve enerji verimi kurutularak %20-30 oranında artırılabilir. Kurutma ayrıca depolama sırasında kalitesini de korunmaktadır.[29]
- Biyokütle, yerel olarak toplanabilen ve böylece kırsal ekonomilerin korunmasına yardımcı olan yerel bir enerjidir.[40]

Biyokütle Enerjisinin Dezavantajları;

- Bazen biyokütle ıslaktır ve yakılmadan önce kurutulması gerekir, bu da enerji maliyetini artırmakta [41].
- Fosil yakıtla karşılaştırıldığında, aynı miktarda enerji üretmek için çok daha fazla biyoyakıta ihtiyaç vardır ve bu da depolamak için daha fazla alana ihtiyaç duyulmasının nedenidir [41].
- Biyokütle yanlış yöntemlerle, yani kötü niyetli ve kötü hedefli bir şekilde elde edilirse, doğal yaşam alanlarının tahrip edilmesine ve ormanların yok edilmesine yol açar [41].
- Sıvı ve katı yakıtlarda olduğu gibi bundan en iyi şekilde faydalanmak için ileri teknolojiye sahip olmayan oldukça yeni bir kaynakla karşı karşıyayız [41].
- Taşıma ve depolama zorlukları ortaya çıktığında biyokütle kullanımının maliyetleri artar [41].
- Biyokütle yakma zehirli maddeler üretiyorsa, 900°C'nin üzerinde bir sıcaklıkta yapılmalıdır [41].

- Biyokütle dünyanın her yerinde bulunabilmesine rağmen, geniş alanlar gerektirdiğinden tam olarak faydalanmak için uygun yerler yoktur [41].

2.3. DÜNYA'DA BİYOKÜTLE

Biyokütle enerjisi tarih öncesi çağlardan beri kullanılmaktadır. Halen dünyanın önde gelen yenilenebilir enerji kaynağıdır, ısıtma ve pişirme için kullanılmaktadır, ancak çoğunlukla daha az sanayileşmiş ülkelerde kullanılmaktadır [42].

Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, 2020 yılında "biyokütle ve atık" 57.513 PJ (petajul) veya küresel birincil enerji tüketiminin %9,8'ini oluşturmuştur. Bu toplamın %9,4'ü elektrik üretimi, %6'sı birleşik ısı ve güç (kojenerasyon), %1,0'ı ısıtma şebekeleri ve %76'sı doğrudan nihai tüketim için, özellikle %48,8'i konut sektörü (bireysel ısıtma, pişirme), %17,5'i sanayi ve %6,6'sı ulaşım (tarımsal yakıtlar) tarafından kullanılmaktadır. Biyokütle ve atık, ulaşım enerjisi tüketiminin %3,6'sını karşılamaktadır [42].

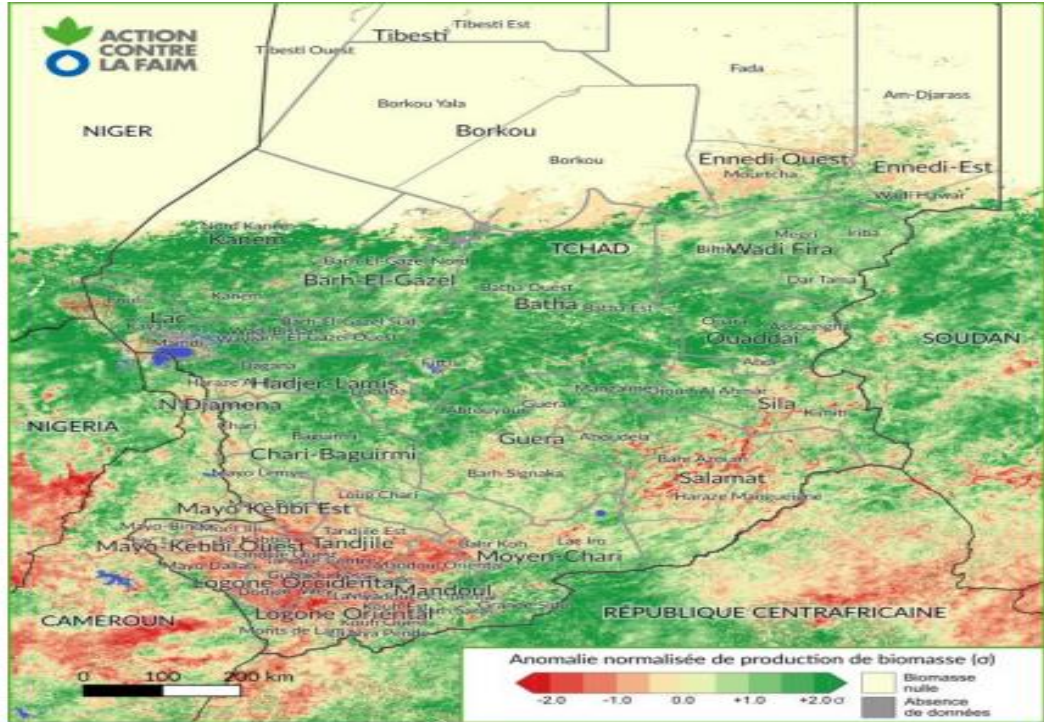
Birçok ülke biyokütleyi enerji dönüşümünün önemli bir parçası olarak görmekte ve kullanımını hızlandırmaktadır. Örneğin Almanya, 2021 yılına kadar elektriğinin %8,4'ünü biyokütleden üretmiştir. Büyük Britanya %7, İspanya %2,5 ve Fransa sadece %1,4 oranında biyokütle üretmiştir [43].

Biyokütle (atık hariç) 2019 yılında küresel elektrik üretiminin %2,0'ını oluşturmaktadır. Dünya toplamının %20,5'ini oluşturan Çin, ABD (%10,3), Brezilya (%10,1), Almanya (%8,2), Birleşik Krallık (%6,2) ve Hindistan'ın (%5,7) önünde biyokütleden elektrik üretiminde en büyük üretici konumundadır. Biyokütlenin elektrik üretimindeki payı, İngiltere (Drax elektrik santralini oduna dönüştürülmesi nedeniyle %10,4) dışında mütevazı kalmaktadır: Çin'de %1,5, ABD'de %1,3, Fransa'da %1,1 [42].

2.4. ÇAD'DA BİYOKÜTLE

2022'de önemli miktarlarda kaydedilen iyi yağışlar, iyi biyokütle üretimini desteklemiştir. 2022'deki biyokütle üretiminin %'sindeki anomaliyi temsil eden harita 1'in analizi, bu iyi üretimi doğrulamaktadır. Ülke geneli için 2022 yılında 456 300t kuru madde olarak tahmin edilen ortalama biyokütle üretimi, 1999-2022 ortalaması olan 418 000 ton'dan daha yüksektir, yani +%9,2'lik bir fark söz konusudur. Bu iyi üretim, negatif olduğu tarımsal güney ve anomalilerin çok negatif olduğu çöl bölgesinin kenarındaki kuzey-kuzeydoğu dışında neredeyse tüm ülkede gözlenmektedir [44].

Ancak, Logone Orientale, Logone Occidentale, MayoKebbi Doğu ve Batı, Tandjile ve Mandoul'un bir kısmına karşılık gelen ülkenin güney kesimi biyokütle üretiminde negatif bir anomali göstermektedir. İleriye dönük bir kalkınma analizi için, toplulukların kırılganlığını ortaya çıkarabilmek amacıyla bu yılki üretim önceki yıllarla karşılaştırılır [44].



Şekil 2.7. Çad biyokütle potansiyeli [44].

2.5. BİYİYAKITLAR

Biyoyakıtlar biyokütleden (bitki, hayvan veya atık kökenli hammadde) elde edilen alternatif yakıtlardır [45].

Biyokütleden elde edilen Biyoyakıtlar		
Katı Biyoyakıtlar	Sıvı Biyoyakıtlar	Gaz Biyoyakıtlar
Peletler	Biyodizel Biyooethanol	Biyogaz Biyosentez Biyohidrojen

Şekil 2.8. Biyoyakıt çeşitleri.

2.5.1. Katı Biyoyakıtlar

Pelet diğer adıyla odun peletleri Biyokütle'den elde edilen katı biyoyakıttır. Kimyasal madde eklenmeden yeniden sıkıştırılmış küçük odun ve talaş parçalarından yapılan bir yakıttır [33]. Peletler genel olarak 40 mm uzunlukta ve çapları 6 ile 8 mm arasındadır [34].



Şekil 2.9. Peletler.

2.5.2. Sıvı Biyoyakıtlar

Biyokütle, ulaşım için sıvı biyoyakıt üretmek için de kullanılabilir. Bunlar genelde:

- **Biyodizel:** dizel ile çalışan motorlarda kullanılan dizel yakıtın yerine geçen bir yakıttır. Kızartma yağ, bitkisel yağ gibi yağlardan elde edilmektedir [46].
- **Bioetanol:** Bioetanol, benzinli motorlar için yenilenebilir ve hemen temin edilebilen tek sıvı yakıttır [46].



Şekil 2.10. Biyoetanol hammadde kaynakları.

2.5.3. Gaz Biyoyakıtlar

- **Biyohidrojen:** Biyokütleden, metanasyon ve reformasyon veya termal ayrıştırma yoluyla üretilen yenilenebilir kaynaklı hidrojen [46].
- **Biyosentez:** Biyosentez, substratların canlı organizmalarda daha karmaşık ürünlere dönüştürüldüğü çok aşamalı, enzim katalizli bir süreçtir. Biyosentezde basit bileşikler modifiye edilir, diğer bileşiklere dönüştürülür veya makromoleküller oluşturmak üzere birleştirilir. Bu süreç genellikle metabolik yollardan oluşur [20].

- **Biyogaz:** Biyogaz, organik maddenin fermantasyonu ile üretilen gazdır. Esas olarak metan ve karbondioksitten oluşan yanıcı bir gazdır. Isı ve elektrik elde etmek için üretim noktasında yakılabilir veya araçlar için doğal gaz olarak kullanılabilir veya doğal gaz dağıtım şebekesine enjekte edilebilecek biyometan elde etmek için saflaştırılabilir [20].

BÖLÜM 3

BİYOĞAZ

Biyogaz, organik maddenin fermantasyonu ile üretilen gazdır. Esas olarak metan ve karbondioksitten oluşan yanıcı bir gazdır. Isı ve elektrik elde etmek için üretim noktasında yakılabilir veya araçlar için doğal gaz olarak kullanılabilir veya doğal gaz dağıtım şebekesine enjekte edilebilecek biyometan elde etmek için saflaştırılabilir [47].

Biyogaz, temel olarak CH_4 (%45-70) ve CO_2 'den (%25-55) oluşan, bazen de H_2S ve/veya N_2 içeren farklı bir biyoyakıt türüdür. Biyogaz, biyokütle, kanalizasyon, hayvan gübresi ve çeşitli atık türleri gibi biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin biyolojik olarak parçalanmasından üretilir[47].

Biyogaz, çoğunlukla organik maddenin mikro-organizmalar tarafından fermantasyonu ile üretilen bir gazdır. Doğal ekosistemlerde (bataklıklar, pirinç tarlaları, toprak, memeli bağırsakları vb.) kendiliğinden meydana gelen bu fermantasyon sürecine metanizasyon denir. Artık insanoğlu tarafından ustalıkla kullanılmakta ve bazı fosil enerji kaynaklarının yerini alırken atıklarımızı değerlendirmemizi sağlamaktadır [48].

Ortalama olarak biyogaz şunları içerir:

- %55-80 metan (CH_4)
- %20-40 karbondioksit (CO_2).
- Zehirli hidrojen sülfür ve nitroz oksit de dahil olmak üzere eser gazlar [49].

Metan gazı, yüksek enerji içeriği enerji üretmek için kullanılabilirliğinden özellikle önemlidir. Metan, iklim değişikliğine katkıda bulunma konusunda karbondioksitin 21 katı güce sahiptir. Doğal çürümeden kaynaklanan metanın atmosfere kaçmasına izin

vermek yerine, onu yakalamak ve yakmak mantıklıdır. Yakma işlemi metanı ısı ve karbondioksit'e dönüştürür. Bunu yaparak gazın enerji içeriğinden faydalanabilir ve iklim değişikliği üzerindeki etkisini azaltabiliriz [49].

3.1. BİYOGAZ ÜRETİMİ

Biyogaz üretimi basitçe metanizasyon sürecini içerir. Bu süreç, atıkların oksijensiz bir alanda depolanmasını içerir. Sonuç olarak, atık fermente olur ve biyogaz açığa çıkar. Bu gaz genellikle metan ve karbondioksitten oluşur. Kullanılan atığa bağlı olarak, gaz başka elementler de içerebilir. Biyogazın kalitesi, kullanılan atığın türüne ve bileşimine ve aynı zamanda fermantasyon yoluyla metan üretiminin gerçekleştirildiği koşullara bağlı olacaktır. Biyogaz üreten atık az ya da çok fermente edilebilir olabilir, yani az ya da çok kolay ayrışabilir ve farklı kalitede bir gaz üretebilir. Bu bakımdan atıktan gaz üretmek mümkündür ancak üretilen gazın kalitesi farklılık gösterebilir [50].

Biyogaz tesisi her türlü organik atığı alır tipik olarak hayvan gübresi ve organik endüstriyel atıklar vb. Hayvan gübresindeki kuru katı madde, diğer şeylerin yanı sıra karbon içerir ve süreçte bu karbon, metan (CH_4) ve karbondioksitten (CO_2) oluşan bir bileşik olan biyogaza dönüştürülür [51].

Gübre ve atık, $38-52^{\circ}C/100-125,6^{\circ}F$ 'ye ısıtılmadan önce tesisin alıcı tankında karıştırılır ve biyogazın üretildiği çürütücüye pompalanır. Biyokütle çürütücüde 2-3 hafta kalır ve fermente edilmiş bulamaç daha sonra mahsul gübresi olarak kullanılabilir. Bu gübre, bulamacı yayarken daha az koku rahatsızlığı ve sera gazlarının önemli ölçüde azaltılması gibi gelişmiş niteliklere sahiptir [52].

3.1.1. Anaerobik Sindirim

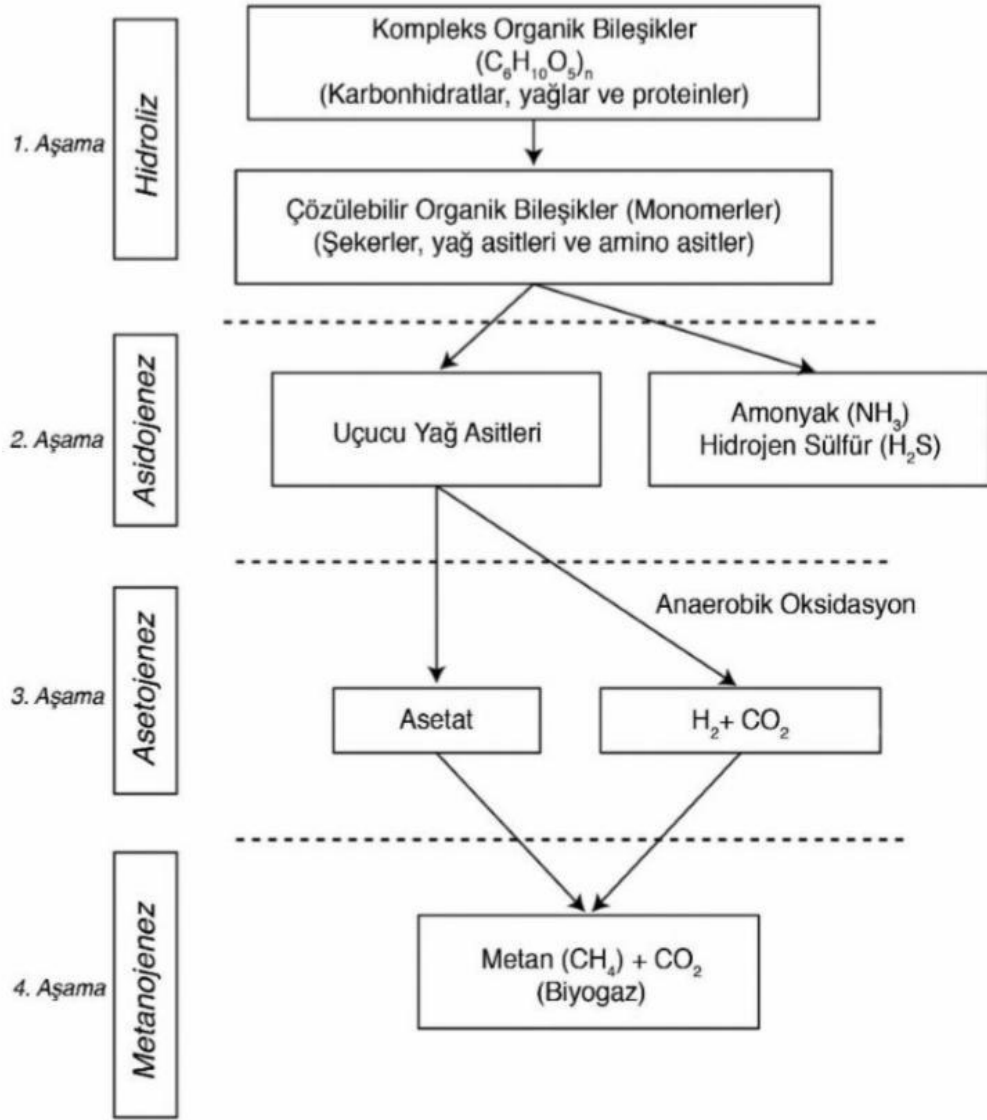
Biyogaz, bakteriler oksijen yokluğunda organik maddeyi (biyokütle) sindirdiğinde üretilir. Bu sürece anaerobik sindirim denir. Sindirim sistemi içinden atık havuzlarının derinliğine kadar her yerde doğal olarak gerçekleşir ve çürütücü adı verilen mühendislik ürünü kaplarda yapay olarak yeniden üretilebilir [49].

Biyogaz çok çeşitli hammaddelerden (besleme stokları) üretilebilir. Biyogaz üretim sürecinde en büyük rolü biyokütle ile beslenen mikroplar oynamaktadır. Bu mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen sindirim, yerel olarak kullanılabilen veya doğal gaz kalitesine eşdeğer biyogaza yükseltilerek biyogazın daha uzun mesafelere taşınmasını sağlayan metan oluşturur. Süreçte organik besin maddeleri içeren materyal de üretilir ve bu tarım gibi amaçlar için kullanılabilir [53].

Biyogaz, birkaç aşamayı içeren bir süreçte iyi kurulmuş bir teknoloji kullanılarak üretilir:

- Biyoatık daha küçük parçalara ayrılır ve anaerobik çürütme sürecine hazırlanmak için bulamaç haline getirilir[53].
- Çamurlaştırma, işlenmesini kolaylaştırmak için biyolojik atığa sıvı eklenmesi anlamına gelir. Mikropların sıcak koşullara ihtiyacı vardır, bu nedenle biyolojik atık yaklaşık 37 °C'ye kadar ısıtılır[53].
- Mikropların sıcak koşullara ihtiyacı vardır, bu nedenle biyolojik atık yaklaşık 37 °C'ye kadar ısıtılır[53].
- Asıl biyogaz üretimi, yaklaşık üç hafta boyunca büyük tanklarda anaerobik çürütme yoluyla gerçekleşir[53].
- Son aşamada, gaz safsızlıklardan ve karbondioksitten arındırılarak saflaştırılır (yükseltilir)[53].

Bu işlemin ardından biyogaz, örneğin sıvılaştırılmış halde veya gaz boru hattı şebekesine enjekte edildikten sonra işletmeler ve tüketiciler tarafından kullanıma hazır hale gelir [53].



Şekil 3.1. Anaerobik sindirim süreci.

Anaerobik çürütme işlemi sırasında organik madde, anaerobik olarak çalışan karmaşık bir mikrobiyal konsorsiyum tarafından aşamalı olarak parçalanır. Bazıları sentrofik ve/veya simbiyotik olan bu mikroplar, çevrelerine karşı az ya da çok duyarlıdır. Organik madde bozunmasının, her biri belirli bir bakteri veya arke grubunu içeren dört ana aşaması ayırt edilebilir.[54]

- Hidroliz

Hidroliz aşaması, anaerobik çürütme sürecinin ilk aşamasıdır. Bu aşamada organik maddeyi oluşturan kompleks polimerler (polisakkaritler, proteinler ve lipitler) esas

olarak hidrolitik bakterilerin etkisiyle monomerlere ve dimerlere (basit şekerler, amino asitler, yağ asitleri, alkoller) ayrıştırılır. Bu parçalanma reaksiyonları selülaz, lipaz ve proteaz gibi hücre dışı enzimler tarafından gerçekleştirilir. Bu enzimler büyük organik madde moleküllerini, mikroorganizmalar tarafından alınıp besin ve enerji kaynağı olarak kullanılabilir daha küçük çözünür moleküllere parçalar. Hidrolitik bakteriler, fakültatif ya da katı anaeroblar, birkaç saatlik çok hızlı bir üreme süresine sahiptir. Ayrıca çevrelerindeki değişikliklere karşı çok hassas değildirler ve çürütücülerin büyük çoğunluğunda mL başına yaklaşık 108 ila 109 bakteri konsantrasyonunda bulunurlar. Hidrolitik bakterilere ek olarak, bazı anaerobik çürütücülerde protozoa ve mantarlar da gözlemlenmiştir, ancak bunlar düşük sayıları nedeniyle anaerobik çürütme sürecinde önemli bir role sahip görünmemektedir. Yüksek lignin içeriği nedeniyle sindirimi zor olan substratların kullanılması dışında, hidroliz aşamasının biyometanizasyon sürecinin sınırlayıcı bir aşaması olduğu düşünülmemektedir [54].

- Asidojenez

Hidroliz aşamasının ürünleri asidogenez aşamasında uçucu yağ asitleri (VFA), alkol, organik asitler, dihidrojen (H_2) ve karbondioksite sindirilir. Asidojenik topluluğun büyüklüğü bir anaerobik çürütücüde mL başına 106 ila 108 bakteri arasında değişir ve bazı temsilciler fakültatif anaerob da olabilir. Bu aşama genellikle çok hızlıdır ve bu nedenle çürütücü aşırı beslenirse veya hızlı fermente olabilen substratlar kullanılırsa büyük miktarda VFA oluşumuna yol açabilir. Çürütücüdeki bu hızlı VFA üretimi pH'nın düşmesine ve dolayısıyla metan üreten mikroorganizmaların bu parametreye duyarlılığı nedeniyle anaerobik çürütme sürecinin engellenmesine yol açabilir [54].

- Asetojenez

Asetojenez aşaması sırasında metan öncülleri oluşur. Aslında, bir önceki aşamanın ürünleri, asetojenik bakterilerin etkisi altında asetat (CH_3COOH), dihidrojen ve karbondioksite dönüştürülür. Termodinamik olarak asetojenez, çürütücüdeki kısmi dihidrojen basıncına bağlıdır. Bu nedenle anaerobik çürütme sürecinin bu temel aşaması, asetojenik organizmalar ile bir sonraki aşamada devreye girecek olan metanojenler arasında yakın işbirliği gerektirir. Gerçekten de, asetat oluşumu sırasında

dihidrojen de üretilir ve çürütücüde birikirse, asetojenik bakterilerin aktivitesi engellenir. Bu nedenle, asetojenik bakteriler sadece 10⁻⁴ atmosferin altındaki kısmi dihidrojen basıncında aktiftir. Bu koşul, asetojenik bakteriler tarafından üretilen hidrojen hızla tüketildiğinde biyometanizasyon prosesinde elde edilir. Bu nedenle hidrojen-trofik metanojenik arkeler ile asetojenik mikroorganizmalar arasında yakın işbirliği içinde yaşayan ve böylece bu gazın düşük kısmi basıncının korunmasını sağlayan sintrofik bir ilişki vardır [54].

- Metanojenez

Biyometanizasyonun son aşaması olan metanojenez sırasında metan oluşur. Metanojenik arkeler katı anaeroblardır ve esas olarak önceki aşamalarda üretilen asetat, karbondioksit ve dihidrojeni tüketerek anaerobik sindirim sürecinin sorunsuz ilerlemesini sağlarlar. Arkelerin oluşum süresi genellikle 1 ila 12 gün gibi uzun bir süredir ve bu nedenle metanojenez anaerobik sindirim sürecinin en yavaş aşaması olarak kabul edilir [54].

Aynı zamanda pH, sıcaklık ve kimyasal inhibitörlerin varlığı gibi çevresel koşullara karşı en hassas aşamadır [54].

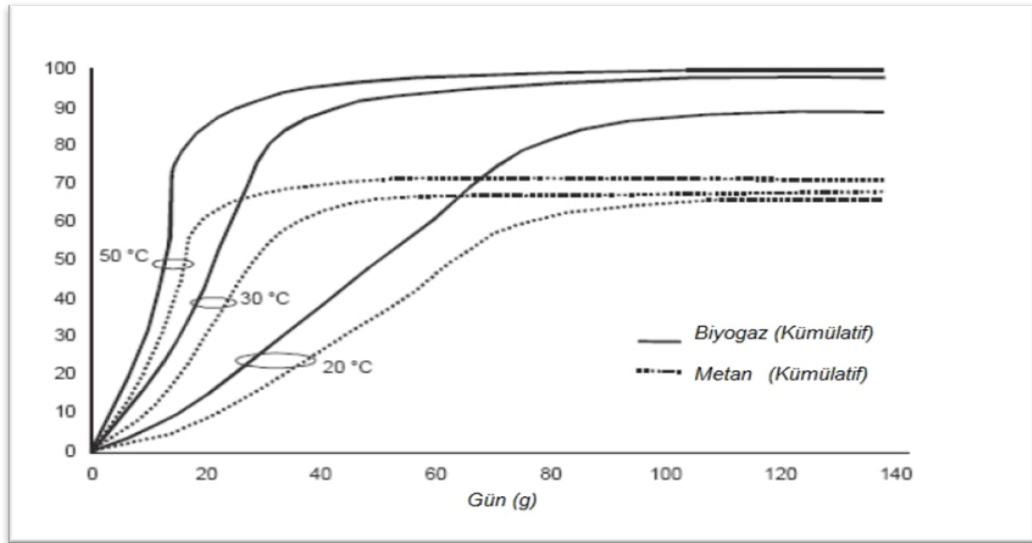
Genellikle mL başına yaklaşık 10⁶ ila 10⁸ metanojenik arke tespit edilir ve bunlardan farklı topluluklar kullandıkları substratlara göre ayırt edilebilir. İlk topluluk asetotrofik (veya asetoklastik) metanojenik arkelerden, yani metan öncüsü olarak asetat kullananlardan oluşur. Bu topluluk, şu anda asetatı metanın tek öncüsü olarak kullandığı bilinen tek iki metanojen cinsi olan Methanosaeta (katı asetotroflar) ve Methanosarcina (fakültatif asetotroflar) cinslerini içerir. Bu asetotrofik metanojenlerin çürütücüdeki metan üretiminin yaklaşık %70'inden sorumlu olduğu düşünülmektedir [54].

3.1.2. Anaerobik Sindirimi Etkileyen Faktörler

Bu bölümde, ilgili mikroorganizmalar tarafından üretilen biyogazın miktarını ve kalitesini (biyogazdaki metan yüzdesi) etkileyen anaerobik çürütme sürecinin yönetimiyle ilgili ana faktörler sunulmaktadır .[54]

- Sıcaklık

Bir veya daha fazla mikrop grubunun etkisiyle ortaya çıkan herhangi bir faaliyet gibi, anaerobik sindirim süreci de yüksek oranda sıcaklığa bağlıdır. Gerçekten de, sıcaklıktaki bir artış hücrelerdeki biyokimyasal ve enzimatik reaksiyonları harekete geçirerek daha hızlı bir hücre büyümesine yol açar. Bu nedenle, anaerobik çürütme işlemi sırasında sıcaklıktaki bir artış, organik maddenin bozunma oranını hızlandırır ve bozunmasını iyileştirerek daha yüksek bir biyogaz üretimiyle sonuçlanır [54].



Şekil 3.2. Sıcaklığın biyogaz üretimine etkisi [54].

Organik maddenin biyometanizasyon yoluyla %40 ila 50 oranında bozunması 30 ila 35°C arasındaki sıcaklıklarda elde edilir. Sıcaklık 37 ± 2 °C civarında kontrol edilirse, organik maddenin azaltılması için optimum değer %57'ye yükselir. Bununla birlikte, organizmaya özgü belirli bir sıcaklığın üzerinde, organizmanın ölümüne kadar varan inhibisyonlar veya proteinlerin denatürasyonu meydana gelebilir. Benzer şekilde, küçük ve hızlı sıcaklık değişiklikleri (örneğin 2 saatten kısa sürede 1-2°C) anaerobik

sindirim süreci üzerinde güçlü bir etkiye sahip olabilir, çünkü ilgili her mikrobiyal grubun farklı sıcaklık optimumları vardır [54].

Aslında, belirli mikrobiyal gruplar bu küçük değişimler tarafından tercih edilebilir veya tercih edilmeyebilir, böylece mikrobiyal topluluk içinde kurulan dengeyi bozabilir ve anaerobik çürütme sürecinin performansını düşürebilir [54].

Anaerobik sindirim, gerçekleştiği sıcaklık aralığına bağlı olarak farklı şekillerde adlandırılır. Bu nedenle, 20°C'nin altındaki bir sıcaklıkta gerçekleştiğinde psikrofilik, 20 ila 45°C arasındaki bir sıcaklıkta gerçekleştiğinde mezofilik ve 45°C'nin üzerindeki bir sıcaklık için termofilik olduğu söylenir. Bu son iki aralık, biyogaz yoluyla enerji üretmek için en yaygın kullanılan aralıklardır. Ancak her ikisinin de bozunma hızı ve kararlılık açısından avantajları ve dezavantajları vardır. Örneğin, termofilik anaerobik sindirim için, hidroliz fazının reaksiyon hızı mezofilik anaerobik sindirime kıyasla daha hızlıdır. Bunun nedeni, termofilik sıcaklıklarda mikroorganizmaların aktivitesinin ısı ile mezofilik sıcaklıklara kıyasla %25-50 oranında artmasıdır. Bu nedenle, aynı verim için çürütücülerin hacmi azaltılabilir. Ayrıca termofilik çürütücülerin mezofilik çürütücülere kıyasla patojenik organizmaları ortadan kaldırma kapasitesinin daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte, termofilik anaerobik çürütücüler daha düşük mikrobiyal çeşitliliğe sahiptir ve anaerobik çürütme işlemi sırasında VFA veya amonyak birikimine daha yatkın oldukları için daha az kararlı oldukları bildirilmektedir. Ayrıca mezofilik çürütücüye göre daha fazla ısıtma enerjisine ihtiyaç duyarlar [54].

- Atık türü ve organik madde içeriği

Bir anaerobik çürütücünün beslenmesiyle ilgili faktörler çürütücünün çalışmasını çeşitli düzeylerde etkiler. Gerçekten de, organik yükleme oranının (OLR) yanı sıra çürütücüye uygulanan hidrolik bekletme süresine (HRT) veya kullanılan farklı substratların yapısına bağlı olarak, biyogaz üretimi az ya da çok hızlı olacaktır. Benzer şekilde, çürütücü beslenmesiyle ilgili bu farklı faktörler üretilen metan miktarını, bileşimini ve aynı zamanda anaerobik çürütme sürecine dahil olan mikrobiyal floranın engellenme riskini etkiler. Aslında, sürece dahil olan mikrobiyal toplulukların ihtiyaç

duyduğu besinler, hücrenin biyokimyasal ve metabolik reaksiyonlar için gerekli olan enzimleri ve kofaktörleri sentezlemesine izin verdiği için gelişimleri için gereklidir. Bu nedenle, herhangi bir inhibisyon fenomeninden kaçınmak için, makro ve mikro besinlerin mikroorganizmaları çevreleyen ortamda yeterli miktarlarda bulunması esastır. Bununla birlikte, bazı besin maddelerinin fazlalığı mikrobiyal topluluk için toksik olabilir ve ayrıca inhibisyona yol açabilir [54].

Biyometanizasyonda kullanılan substratlar esas olarak:

- Bulamaç, gübre ve yem artıkları gibi hayvancılık atıklarının geri kazanılması yoluyla tarım; enerji bitkileri (olgunlaşmamış çavdar silajı, mısır, ot, sorgum), tahıl artıkları veya saman ve saman gibi mahsul artıkları veya ürünleri[54].
- mezbaha artıkları, bira fabrikası taslakları, uygun olmayan sebze ve meyveler veya makine ve aletlerden gelen durulama suyu gibi çok sayıda atık ve yan ürünün geri kazanılması yoluyla tarımsal gıda endüstrileri[54].
- Belediyeler, esas olarak atık su ve çim kırpıntıları, çit kırpıntıları, ölü yapraklar ve kantin artıkları gibi her türlü organik atığın geri kazanımı yoluyla[54].

Kullanılan substratların bileşimi biyogazın bileşimini belirler. Gerçekten de, tüm substratların biyogaza dönüştürüldüğü teorik durumda, karbonhidratlar (şeker) %50 metan ve %50 karbondioksitten oluşan bir biyogaz üretimine yol açar. Proteinler için pratikte genellikle yaklaşık %60 metan ve %40 karbondioksitten oluşan bir biyogaz beklenir. Lipidlerin anaerobik sindirimi sırasında %72 metan ve %28 karbondioksit içeren bir biyogaz üretilmektedir (Boyle, 1976). Ancak uygulamada önemli miktarda hidrojen sülfür (H_2S) ve amonyak (NH_3) üretimi de gözlenmektedir [54].

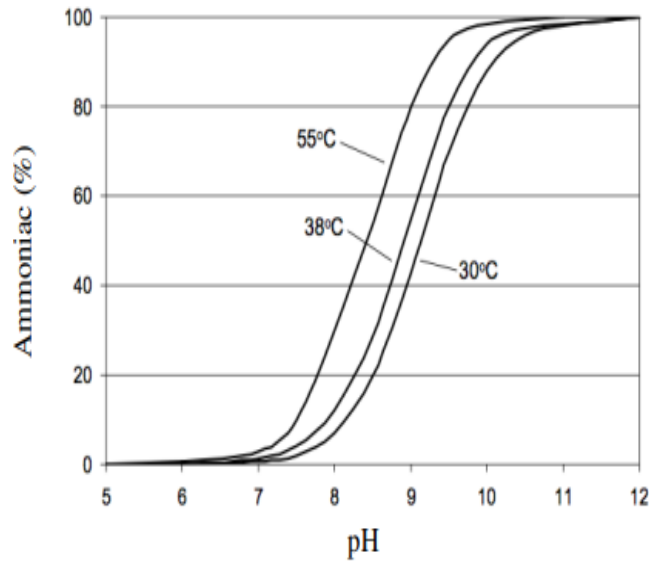
Hidrojen sülfür, elektrik ve ısı üretmek için biyogaz yakan kojenerasyon tesislerinin ısı motorları için zararlıdır[54].

Bu nedenle, metiyonin ve sistein gibi sülfürlü proteinler bakımından zengin mezbahalardan elde edilen tüyler gibi belirli substratların kullanılması, önemli miktarda H_2S üretimine yol açacaktır[54].

Organik maddeden üre ve proteinlerin hidrolizi, anaerobik çürütme işlemi sırasında amonyak oluşumuna yol açar. Bu element mikropların gelişimi için gereklidir ve serbest NH_3 formundan iyonize NH_4^+ formuna geçerek VFA'ların oluşumuyla ortaya çıkan asitliğin bir kısmını tamponlar [54].

Ancak çok yüksek amonyak konsantrasyonu biyometanizasyon sürecinin engellenmesine ve dolayısıyla biyogaz üretiminin azalmasına ve hatta durmasına yol açabilir (Hashimoto, 1986). Aslında, pH ve sıcaklığa bağlı olarak, amonyak anaerobik çürütmede temel olarak iki şekilde bulunur: çözeltide gaz halinde (NH_3) ve iyonize halde (NH_4^+). Nötr pH'da amonyağın %99'undan fazlası iyonize formda olacaktır. Bununla birlikte, çürütücünün pH'ını 8'e veya sıcaklığını birkaç derece yükseltmek, ortamdaki NH_3 formundaki amonyak oranını artıracaktır[54],

Bu ikinci form mikroplar için iyonize NH_4^+ formundan çok daha toksiktir. Serbest haldeki amonyak hücre zarlarından pasif olarak difüze olur. Bu nedenle, mikropların çevresindeki NH_3 artışı, içlerindeki NH_3 artışına da yol açar. Bu artış hücre içi pH'ın bozulmasına, hücrenin daha yüksek bakım enerjisi ihtiyacına ve bazı enzimlerin inhibisyonuna neden olur. Anaerobik sindirim sürecine dahil olan farklı mikrobiyal gruplar arasında, metanojenik arkeler ve özellikle asetotroflar, yüksek amonyak (NH_3) konsantrasyonlarından en çok etkilenenlerdir [54].



Şekil 3.3. Amonyak konsantrasyonunun etkisi [54].

Metanojenlerin bu olası inhibisyonu, asetat artık metan oluşturmak için doğrudan tüketilmediğinden, çürütücüdeki VFA seviyesinde bir artışa neden olur[54].

Litre başına 2-3 g N-NH₄⁺ üzerindeki bir amonyum konsantrasyonunun genellikle anaerobik çürütme sürecini engellediği kabul edilir. Bununla birlikte, birçok çalışma amonyağın anaerobik çürütme sürecini engellediği farklı konsantrasyonları tanımlamaktadır[54]. Bunlar

Bu farklılıklar, pH ve sıcaklık açısından çürütücülerin özelliklerine bağlı olarak, toksik olmayan amonyum ile toksik amonyak arasındaki oranın farklı olacağı gerçeğiyle açıklanmaktadır[54].

Proses dahil olan ve bu yüksek serbest amonyak konsantrasyonlarına alışma gösterebilen veya gösteremeyen mikrop türleri gibi diğer faktörler de amonyak toksisitesinin olduğu eşik değerini etkiler. Çeşitli çalışmalar, yüksek amonyak konsantrasyonlarına maruz kalan bir anaerobik çürütücüdeki mikrobiyal toplulukların değişen bir süre sonra uyum sağlayabildiğini göstermiştir. Bu nedenle biyogaz üretimi sadece kısmen etkilenmektedir. Bu adaptasyon olgusu, çürütücüdeki mikrobiyal topluluktaki ve dolayısıyla asetat ile metan oluşumu sürecindeki değişikliklerle açıklanabilir. Gerçekten de, bu adaptasyon döneminde ve açıklandığı gibi, asetat sintrofik oksidatif bakterilerin etkisi hidrojenotrofik metan oluşum yolunu desteklemekte ve böylece asetotrofik metanojenlerin inhibisyonunu telafi etmektedir [54].

Biyometanizasyonda kullanılan farklı substratların doğasıyla bağlantılı diğer bileşenler de anaerobik sindirim sürecini etkileyebilir.

Gerçekten de kobalt, molibden ve nikel gibi bazı metaller metanojenik arkelerin enzimatik aktivitesi için gereklidir. Dolayısıyla, örneğin bu ağır metallere bazılarının eksikliği durumunda metan üretiminin engellenmesi söz konusu olabilir. Benzer şekilde, çürütücüde büyük miktarda ağır metal birikmesi de mikrobiyal topluluğun zehirlenmesi yoluyla biyogaz üretiminin engellenmesine yol açabilir. Gerçekten de ağır metaller, aktif bölgelerine bağlanarak belirli enzimlere müdahale

eder ve böylece faaliyetlerinin engellenmesine yol açar. Söz konusu ana elementler krom, manganez, demir, kobalt, çinko, molibden, gümüş, cıva, kadmiyum ve nikelidir. Bunlar endüstriyel organik atıklarda veya kanalizasyon çamurunda büyük miktarlarda bulunabilir[54].

Her bir metalin etkisini ve inhibisyon eşiğini tahmin etmek, sonuçların bir çalışmadan diğerine büyük farklılıklar göstermesi nedeniyle zordur. Konsantrasyonları ve kimyasal formlarına ek olarak, çeşitli ağır metallerin inhibitör gücünün, bağlanabilecekleri bentonit ve sitrik asit gibi bazı organik bileşenlerin varlığı, pH ve ortamın oksidasyon-redüksiyon potansiyeli gibi çevresel faktörlere de bağlı olduğu görülmektedir[54].

Örneğin substratlarda bulunan antibiyotikler gibi diğer engelleyici maddeler de anaerobik sindirim sürecinde bozulmalara yol açabilir. Gerçekten de, hayvan yemlerinde büyümeyi teşvik edici olarak kullanılan antibiyotiklerin gübre ve bulamaçta bulunabileceği ve dolayısıyla biyometanizasyon sürecini bozabileceği uzun yıllardır gösterilmiştir [54].

Örneğin, her ikisi de protein sentezini engelleyen kloramfenikol ve klortetrasiklin gibi antibiyotikler, metanojenik arkeleri inhibe ederek metan üretiminde azalmaya yol açmaktadır [54].

Bununla birlikte, diğer çalışmalar atık suda bulunan diğer bazı antibiyotiklerin mikroorganizmalar tarafından parçalandığını ve bu nedenle sürecin engellenmesine yol açmadığını göstermiştir [54].

- Organik yükleme oranı

Mikrobiyal kompleksin etkisi altında, organik maddenin (OM) parçalanması, tüm OM tüketilene kadar bir çürütücüde sürekli olarak gerçekleşir. Organik yükleme oranı (OLR), örneğin günlük olarak çürütücüye dahil edilebilecek substrat miktarını tanımlar. Bu oran önemli bir parametredir ve anaerobik çürütme sürecine dahil olan mikroorganizmalara uyarlanmalıdır. Gerçekten de, mikrobiyal toplulukların adapte

olmadığı bir çürütücüye büyük miktarda substratın dahil edilmesi, hızlı oluşum süreleri nedeniyle anaerobik çürütme sürecinin ilk aşamalarında yer alan bakteri topluluklarının hızlı bir şekilde büyümesine yol açacaktır. Sonuç olarak, OM'nin parçalanmasından kaynaklanan büyük miktarda VFA çürütücüde üretilecektir. Bu durum, yüksek VFA konsantrasyonlarına ve düşük pH değerlerine uyum sağlayamayan metanojenik arkelerin gelişiminin engellenmesine yol açacaktır[54].

Bu sorundan kaçınmak için, kullanılan farklı substratlar için uygulanacak maksimum RLO'nun belirlenmesi önemlidir. Bu amaçla, substratın kuru maddesi (toplam katılar için DM veya TS) ve kuru organik maddesi (uçucu katılar için MOS veya VS) karakterize edilmelidir. Çürütücü rasyonuna yeni bir substrat eklenirken, mikrobiyal topluluklara uygun şekilde gelişmeleri için zaman tanımak amacıyla günde metreküp çürütücü başına 0,5 kg MOS OLR uygulanması ve ardından bu oranın her iki haftada bir 0,5 kg artırılması önerilir. Ayrıca, bir anaerobik çürütücüyü beslemek için kullanılan farklı substratların bozunmasına özgü bu mikrobiyal toplulukların korunmasını kolaylaştırmak için, RLO'nun zaman içinde mümkün olduğunca sabit tutulması tercih edilir; ancak, maksimum %10-15'lik bir değişiklik genellikle kabul edilir[54].

- Hidrolik bekleme süresi

Hidrolik alıkonma süresi (HRT), çürütücünün tüm içeriğini değiştirmek için gereken süredir. Çürütücünün toplam hacminin her gün içine eklenen substrat hacmine bölünmesiyle hesaplanır [54].

Bir çürütücünün optimum HRT'si, onu beslemek için kullanılan substratların doğasına ve bileşimine, çürütme sıcaklığına ve sürece dahil olan mikrobiyal topluluğa (mikroorganizma türü ve yoğunluğu) bağlıdır [54].

HRT çok kısaysa, yani prosese dahil olan bakteri ve arkelerin oluşum süresinden daha kısaysa, mikrobiyal topluluk çürütücüden elenecektir (sızıntı fenomeni). Bu nedenle biyogaz üretimi artık tam olarak garanti edilemez. Bu fenomeni önlemek veya sınırlandırmak için, en yavaş büyüyen mikroorganizmanın üretim süresinin en az iki

katına eşdeğer bir hidrolik tutma süresinin muhafaza edilmesi veya mikroorganizmaların kendilerini bağlamasına (plastik biyoreaktör halkaları gibi) ve böylece çürütücüde tutulmasına izin veren malzemelerin kullanılması tavsiye edilir[54].

Tersine, HRT'nin çok uzun olması durumunda biyometanizasyon sürecinde bir aksama da meydana gelebilir. Gerçekten de, örneğin amonyum ve potasyum (K⁺) gibi mikrobiyal topluluklar için bazı engelleyici unsurların birikmesi, uzun hidrolik bekletme süreleri tarafından desteklenmektedir[54].

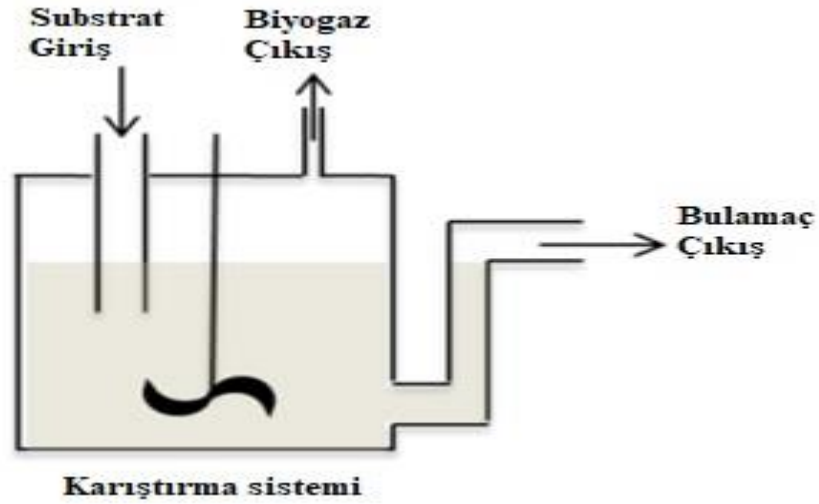
- Çürütücü tipi

Avrupa'da tam ölçekli anaerobik çürütücüler, genellikle çelik veya betondan inşa edilmiş, içeriğin havadaki oksijenden uzak tutulması için atmosferden yalıtılmış tanklardır. Çoğu, mezofilik veya termofilik bir sıcaklığı korumak için bir ısıtma ve yalıtım sisteminin yanı sıra pervane, pompa veya üretilen biyogazın yeniden enjeksiyonu yoluyla bir karıştırma sistemi ile donatılmıştır. Oluşan biyogaz tankın üst kısmından tahliye edilir. Substratlar, boyutlarına ve su içeriklerine bağlı olarak, pompalar veya bir burgu vasıtasıyla çürütücüye dahil edilir. Çürütme suyu daha sonra çürütme işlemini tamamlamak veya gübre olarak kullanılmadan önce nihai çürütme suyunu depolamak için ikinci bir çürütücüye (post-çürütücü olarak adlandırılır) pompalanır. Geri kazanılacak substratın hacmine ve türüne bağlı olarak, farklı çürütücü türleri vardır. Her durumda, anaerobik çürütme sürecine dahil olan mikroplar çamurda serbest olabilir veya çürütücünün içine yerleştirilen mikrobiyal taşıyıcılara bağlanabilir. Bu taşıyıcılar, tarımsal çürütücülerde bozunmamış bitki lifleri olabilir[54].

- Sürekli karma reaktörler

Sürekli karıştırmalı tank reaktörleri (CSTR'ler) biyogaz üretimi için en yaygın kullanılan tam ölçekli çürütücülerdir. Bu tip çürütücülerde, çürütülecek substrat anaerobik çürütme sürecine dahil olan mikrobiyal topluluklarla doğrudan temas halindedir ve sürecin farklı aşamaları arasında herhangi bir ayırım yoktur. Böylece,

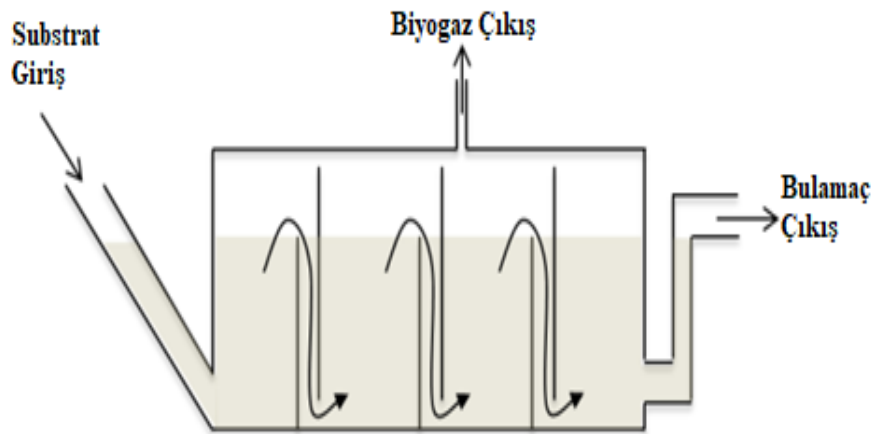
hidrolitiklerden metanojenlere kadar biyometanizasyonda yer alan tüm mikroorganizmalar aynı bölmede bulunur. Mikroorganizmalar reaktörde serbest olduğundan, sızıntıyı önlemek için hidrolik alıkoyma süresi çok kısa olmamalıdır [54].



Şekil 3.4. Sürekli karıştırılmalı reaktör [54].

- Anaerobik bölmeli reaktörler

Anaerobik bölmeli reaktörler (ABR'ler), çeşitli elemanlara bölünmüş yatay anaerobik çürütücülerdir. Bölme sayısı tasarımcılar arasında değişiklik gösterir[54].



Şekil 3.5. Anaerobik bölmeli reaktör [54].

Sindirilecek substrat çürütücünün bir ucundan girerken, çürütülmüş su diğer ucundan boşaltılır. Substrat çürütücüye girerken ve çürütücü çürütücünden çıkarken, çürütücü substrat/çürütücü karışımı aşağıdan yukarıya doğru elemanların içinden geçer. Bu tip çürütücünün avantajı, anaerobik çürütmeyi iki aşamada gerçekleştirebilirken, maliyetleri ve süreç kontrol sorunlarını sınırlandırmasıdır. Aslında, bu tip çürütücünün tasarımı, çürütücünün farklı bölmelerindeki farklı mikrobiyal grupların özel bir gelişimine izin verir. Bunun nedeni, çürütücünün farklı bölmeleri için, örneğin mevcut substrat miktarı ve pH açısından belirli mikrobiyal popülasyonlar için daha elverişli koşulların oluşturulmasıdır. Bu nedenle, hidrolitik bakterilerin çoğu, hızlı üretim süreleri, substrat açısından zengin ortamlara toleransları ve asidik pH'a olan ilgileri nedeniyle substratı alan ilk bölmede yoğunlaşacaktır. Anaerobik sindirim sürecine dahil olan, daha yüksek bir pH'a adapte olmuş ve daha yavaş bir üretim süresine sahip diğer mikroorganizmalar ABR'nin sonraki bölmelerinde büyüyecektir [54].

- Karıştırma

Anaerobik çürütücü içeriğinin çalkalanması, pervaneli karıştırıcılar, pompalar aracılığıyla çürütme suyunun devridaimi veya üretilen biyogazın yeniden verilmesi gibi çeşitli yollarla sağlanabilir. Çürütücünün çalkalanması, anaerobik çürütme sürecinde birçok işleve hizmet eder. Ortamda eşit bir sıcaklık ve pH dağılımı sağlar, çürütücünün dibinde çökelmeyi veya yüzeyde bir kabuk oluşumunu önler, partikül boyutunu azaltmaya yardımcı olur ve son olarak biyogaz salınımını kolaylaştırır. Karıştırma ayrıca, örneğin enzimler ve substratlar arasındaki mesafeyi azaltarak substratlar ve ayrıştırıcı mikroorganizmalar arasındaki etkileşimi kolaylaştırır ve böylece karıştırılmayan bir çürütücüye kıyasla biyogaz üretiminde %10 ila 30 arasında bir artış sağlar. Öte yandan, çeşitli çalışmalar bir reaktörün başlangıç aşamasında çalkalanmasının anaerobik çürütme süreci üzerinde olumsuz bir etkisi olacağını göstermektedir: süreç daha az kararlı olacak, daha yüksek miktarda uçucu yağ asidi nedeniyle pH daha düşük olacaktır [54].

- Ph

Metanojenik fazın tamamlanması için pH çok önemlidir, çünkü pH'daki düşüş metanizasyon sürecini engeller [20].

PH'daki değişim organik madde fermantasyonunun gelişimine bağlıdır ; pH asidojenik faz sırasında VFA'ların üretimi ile azalır [20].

Metan nötr bir ortamda (pH 7'ye yakın) üretilir. Çoğu düzenli depolama sahasının pH değeri 6,8 ile 7,2 arasındadır. Ph 8'in üzerinde metan üretimi çok düşüktür [20].

Farquhar ve Rovers (1973) düzenli depolama sahaslarında gaz üretimini etkileyen faktörlerin şematik bir gösterimini geliştirmiştir. Bu Şekil 17'de gösterilmektedir ve çeşitli faktörlerin nasıl etkileşime girerek ayrılmış atıklardan çıkan gazların emisyonunu nihai olarak etkileyebileceğini göstermektedir [20].

Örneğin, A grubunda yer alan ve yakın mikrobiyal çevreyi ilgilendiren faktörlerle ilgili olarak yazarlar, sıcaklığın düşürülmesinin CH₄ üretimini azaltacağını açıklamaktadır. Bu da organik asitlerin birikmesine yol açarak alkalinite ve pH'ı düşürecektir. Bu koşullar CH₄ üretimini azaltacaktır. B Grubu faktörü : infiltrasyon, A grubundaki faktörlerin çoğunu etkiler. C grubundaki bazı faktörler düzenli depolama sahasının hazırlanması ve işletilmesinden etkilenebilir ve diğer gruptaki faktörlerle de etkileşime girebilir [20].

Örneğin : hava ile atıkta bulunan gazlar arasındaki alışveriş atmosfer basıncından etkilenecektir, gazların ve suyun depolama sahasındaki yolu atığın yerleşiminden ve gözenekliliğinden ve atığı örtmek için kullanılan malzeme ve prosedürlerden etkilenecektir [20].

3.2. BİYOGAZ ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELER

Biyogaz üretimi, hammaddelerin biyogaz tesisine ulaşmasıyla başlar. Çok çeşitli katı ve çamur benzeri hammaddeler kullanılabilir [53]. Biyogazın en yaygın kaynakları organik madde deşarjlarıdır:

- Bitkisel ürünler.

- Düzenli depolama sahaları: ne kadar sıkı işletildiklerine bağlı olarak biyogaz içerikleri az ya da çok yüksektir. Çürüeyebilen atıkların seçilerek toplanması, özel biyoreaktörler (çürütücüler) kullanılarak standart çöp depolama alanlarına kıyasla daha hızlı metanizasyona olanak sağlamaktadır. Çöp sahası biyogazının geri kazanımı iki kat daha ilginçtir çünkü atmosfere salınan metan, yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksitten (CO₂) çok daha güçlü bir sera gazıdır.
- Atık su arıtma tesislerinden çıkan çamur: metanizasyon organik bileşiklerin ortadan kaldırılmasını ve tesisin enerji bakımından az çok özerk olmasını sağlar.
- Hayvancılık atık suları: yönetmelikler, altı aydan fazla kapasiteye sahip atık su depolama tesislerinin (bulamaç, gübre) bulunmasını zorunlu kılmaktadır. Bu depolama süresi atık suların metanlaştırılması için kullanılabilir. Bu, hayvan gübresinin yanı sıra diğer tarımsal atıklarla da ilgilidir: mahsul ve silaj kalıntıları, süt ürünleri atıkları, pazardan çekilenler, çim vb.
- Gıda işleme endüstrilerinden ve toplu yemek hizmetlerinden kaynaklanan atık sular. Amaç esas olarak çok zengin organik maddelerin deşarjını önlemektir.
- Girdilerin niteliği (sindirilmiş organik madde) nihai ürünün kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu kalite, hammaddelerin metanojenik potansiyeli aracılığıyla değerlendirilebilir [47].

3.3. BİYOGAZ KULLANIM ALANI

Biyogaz başlangıçta basit bir atık arıtma ürünü olarak görülüyordu. Ancak o zamandan beri biyogaz tam potansiyelini göstermiştir. Güneş, hidro, rüzgar ve jeotermal enerji ile birlikte yenilenebilir enerjinin her şeye gücü yeten 'biyokütle' kategorisine girmiştir[55].

Biyogaz ısıtma yakıtı veya yakıt (CNG) olarak kullanılabilir. İsviçre'deki dolum istasyonlarında dağıtılan CNG en az %10 biyogaz içermektedir. 2017 yılında doğal gaz yakıtlarındaki ortalama biyogaz oranı %20'nin üzerindedir. Biyogazın yakıt olarak kullanılması ve madeni yağ vergisinden muaf olması, satış fiyatları üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir [50].

Tipik olarak biyogaz, tesisin gaz motorunda (CHP ünitesi) elektrik ve bölgesel ısı üretmek için kullanılır. Elektrik, elektrik şebekesine gönderilir ve ısı da yerel

tüketiciler tarafından kullanılır. Ayrıca, biyogaz doğal gaza dönüştürülebilir ve doğal gaz şebekesine enjekte edilebilir veya ulaşım için yakıt olarak kullanılabilir [52].

3.4. BİYOGAZIN AVANTAJ ve DEZAVANTAJLARI

Biyogaz, birçok avantajı olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır:

- **Nakliye yakıtı olarak** veya ev ısıtmasında ya da endüstriyel, ticari ve kurumsal süreçlerde fosil doğal gazın doğrudan ikamesi olarak kullanılmak üzere sıkıştırılabilir [56].
- **Atıkları geri dönüştürmenin mükemmel bir yolu:** Çiftlik veya gıda endüstrisi atıklarından üretilen biyogaz, atık hacmini azaltarak enerji üretimi için yeniden kullanılmasına yardımcı olur [57].
- Haftanın 7 günü, günün 24 saati güvenilir ve esnek enerji üretmek [56].
- **Tarım sektörü için mükemmel bir alternatif:** Tarım sektörü sağlık, çevre ve temizlik sorunlarına yol açabilecek çok sayıda atık üretmektedir. Atıklarının geri dönüştürülmesi, çiftçilerin bir sorundan kurtulmalarının yanı sıra satabilecekleri enerji ve mahsullerini gübrelemek için kullanabilecekleri sindirim suyu üretmelerini sağlar [57].
- **Ticari gübre** gereksinimlerinin ve maliyetlerinin azaltılması [56].
- Her şey gibi yenilenebilir enerjilerin de dezavantajları vardır [58].

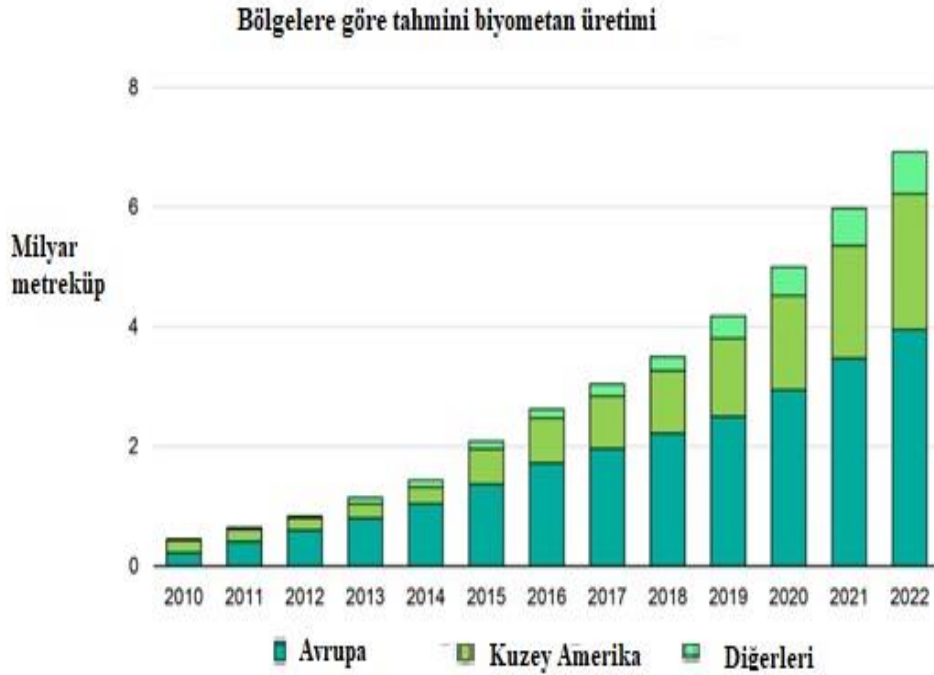
Biyogazın dezavantajları:

- Biyogaz esas olarak metan içerir, bu da bir sızıntı veya çürütücüde bir sorun olması durumunda risk oluşturur. Bu nedenle biyogaz, bir sera gazı olduğu için çevre için kötü olabilir [59].
- Bir çiftçi için biyogaz bulunmaz bir nimettir. Biyogaz tesisi atıkları işler ve katma değeri yüksek bir maddeye dönüştürür. Sonuç olarak, bazı çiftçiler üretimlerini yalnızca bu amaç için kullanma eğilimindedir. Çünkü bazen biyogaz satmak gıda satmaktan daha kârlıdır! Ancak bu, metanizasyon'un başlangıçtaki amacını (atıkların ekolojik olarak geri kazanılması) gözden kaçırmak anlamına gelecektir [58].

- Biyogaz sahaları tehlikeli olabilir, örneğin Daugendorf'taki bir biyogaz tesisi 2007 yılında tahrip olmuştur. Bunun nedeni 20 metre yüksekliğinde ve 17 metre çapındaki bir çürütücünün patlamasıydı. Maddi hasar çok büyüktü: biyokütle 200 metreye kadar uzağa savruldu ve çürütücünün yanındaki binalar ciddi şekilde hasar gördü. Patlamanın nedeni biyogaz üretimi değil, tesisin inşası sırasında yapılan statik boyutlandırma hatasıydı. Bu nedenle patlama riski bulunmaktadır [60].

3.5. DÜNYA'DAKİ BİYOGAZ KULLANIMI

Uluslararası Enerji Ajansı'nın rakamlarına göre 2022 yılı özellikle ABD ve Avrupa'da biyogaz üretimi için rekor bir yıl olmuştur [61].



Şekil 3.6. Bölgelere göre tahmini biyometan üretimi.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından yayınlanan son gaz piyasası raporuna göre, Avrupa'da gaz talebi 2022 yılında şimdiye kadarki en büyük düşüşünü kaydetmiştir. Uzmanlar talebin 2023 yılında da büyük ölçüde değişmeyeceğini öngörmektedir. Doğal gaz fiyatları tarihsel standartlara göre hala yüksek olsa da son aylarda en

azından biraz düşmüştür. Ancak, başta Çin olmak üzere Asya'da LNG talebinin artması halinde bu durum 2023'te yeniden değişebilir[62].

Bu, gaz endüstrisinin 2023 yılı başında açıklanan hedefidir. France Gaz sendikası (eski adıyla Fransız gaz birliği) yaptığı açıklamada "2030 yılından itibaren sektör, ulusal tüketimimizde %20 oranında yenilenebilir ve düşük karbonlu gaz kullanmayı hedefliyor" demiştir. Fransız gaz endüstrisi bu hedefin, hükümetin haziran ayında sunacağı 2028 enerji yol haritasına dahil edilmesini istemektedir [62].

Böyle bir hedef, Ukrayna'daki savaş başlamadan önce boru hattıyla ithal edilen Rus gazının payını (%17) telafi etmeyi ve Fransa'da tüketilen gazın bir kısmına, ithal etmek ve toprak altı kaynaklarını tüketmek yerine yenilenebilir ve yerel bir nitelik kazandırmayı mümkün kılacaktır [63].

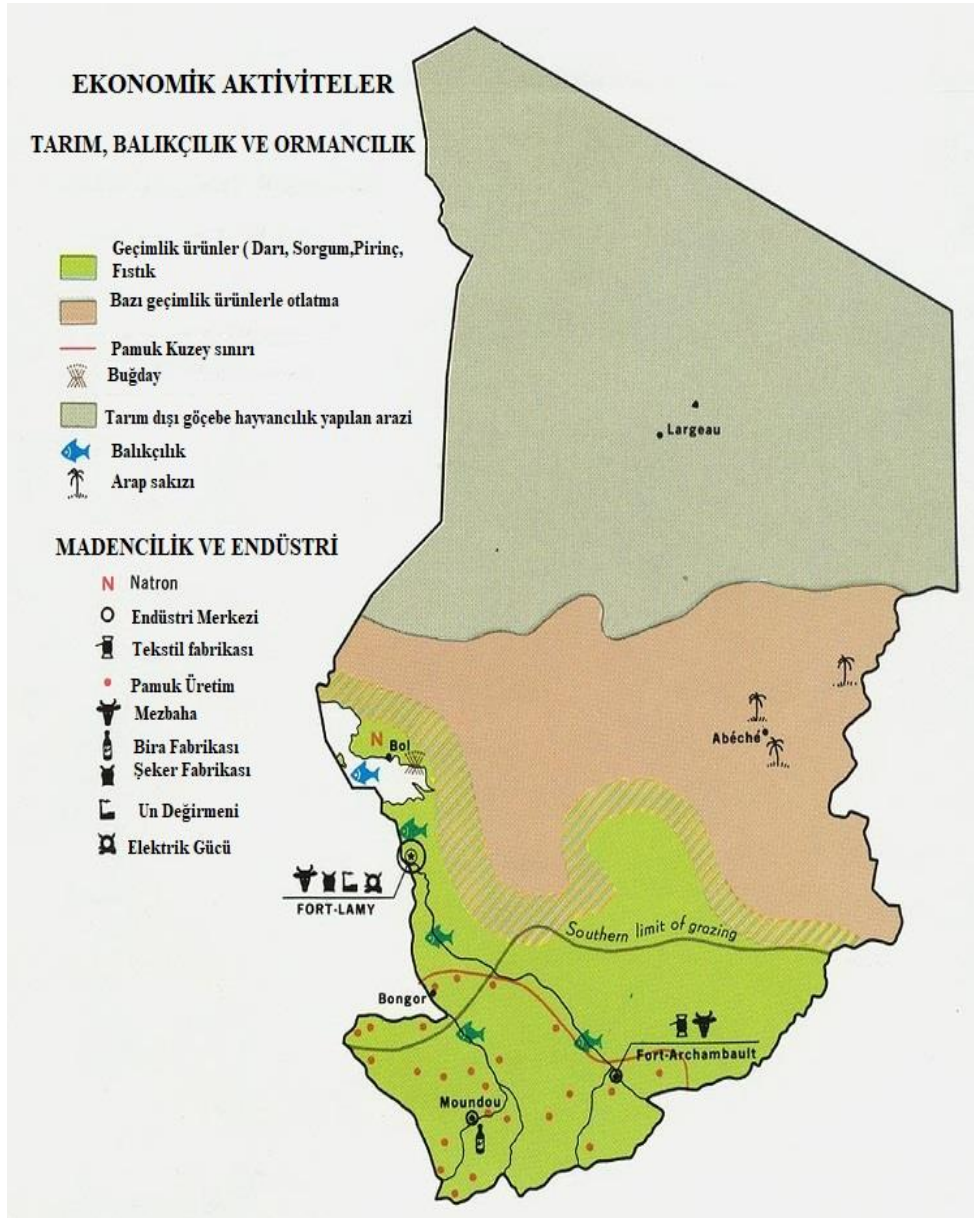
3.6. ÇAD'IN BİYOGAZ POTANSİYELİ

ÇAD, 1 284 000 km² yüzölçümü ile Orta Afrika'da deniz'e kıyısı olmayan bir ülkedir [17]. Çad, Cezayir, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Sudan ve Libya'dan sonra Afrika'nın beşinci büyük ülkesidir. Kuzeyden güneye 1.700 km ve doğudan batıya 1.000 km boyunca uzanır [18].

İklim rejimi, enleme bağlı olarak üç ana bölgeye ayırmaktadır [64]:

- Ülkenin kuzeyinde 780.000 km²'lik bir alanı kaplayan ve neredeyse sıfır yağış alan Sahra bölgesi, neredeyse sürekli kurutucu rüzgarlar ve yüksek gündüz sıcaklıkları ile karakterize edilir. Hurma ağaçları ve deve yetiştiriciliğinin yapıldığı bu bölgede tarım, su noktaları (vahalar) etrafında yapılmaktadır [64]
- Yıllık yağış miktarı 300 mm ile 650 mm arasında değişen 374.000 km²'lik bir alanı kapsayan merkezdeki Sahelian bölgesi, su sıkıntısı çekmesine rağmen Arap zamkı, tahıllar (darı, sorgum, mısır), yağlı tohumlar (yer fıstığı, susam, voandzou), bazı yumrulu bitkiler (tatlı patates, manyok) üretmekte, pazar bahçeciliği katlanarak büyümekte ve büyükbaş ve küçükbaş hayvan yetiştiriciliği yaygın olarak yapılmaktadır.[64]

- Güneyde 130.000 km²'lik bir alanı kapsayan Sudan bölgesi, yıllık 650 mm ile 1.200 mm arasında değişen yağış miktarına ve tropikal bir iklime sahiptir. Burada pamuk, yağlı tohumlar ve sebzeler (yer fıstığı, börülce, susam, voandzou veya patates bezelyesi ve son zamanlarda soya), tahıllar (darı, sorgum, pirinç) ve yumrular (manyok, tatlı patates, yer elması, taro) yetiştirilmektedir [64].



Şekil 3.7. Ekonomik aktiviteler.

3.6.1. Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli

Anket yapılan bölgelerde yetiştirilen başlıca hayvan türleri keçi (yüzde 46), sığır (yüzde 23) ve koyundur (yüzde 14). Görüşülen çiftçilerin yüzde 72'si hayvan sayılarında azalma olduğunu, yüzde 68'i ise hayvan üretiminde zorluklar yaşadıklarını bildirmiştir. Bu zorluklar hayvanların hastalanması ya da ölmesi (yüzde 67) ve sağlık merkezlerinin eksikliği ve uzaklığı nedeniyle veterinerlik hizmetlerine erişim (yüzde 47) ile ilgilidir. Hayvan bakıcılarının denetim ve bilgi eksikliği Çad'da bir sorun olmaya devam etmektedir. Devlet, sahadaki çabalarına rağmen, hayvan yetiştiricilerinin sürekli hareket halinde olması nedeniyle hayvanların sağlığını kontrol etmekte zorlanmaktadır. Gerçekten de meraya erişim, çobanların yüzde 34'ü için bir sorun olmaya devam etmektedir. Eskiden yerleşik ya da yarı göçebe olan bu hayvanların bir kısmı yaylacı olmuş, bu da kaynakları hızla tükenen hayvanların aynı bölgede yoğunlaşmasına yol açmıştır [65].

Bu bölümde hayvansal atıklardan elde edilen biyogaz miktarının elde edilmesi ile ilgili matematiksel ifadeler anlatılmaktadır.

Biyogaz potansiyelini belirlemek için toplanabilir hayvan gübresinin elde edilmesi esastır. Toplanabilir hayvan gübresi miktarının hesaplanması denklem 1'de verilmiştir.

$$TTG = \sum HS_i \times BGÜ_i \times TO_i \quad (3.1)$$

TTG tüm hayvan türleri için toplam toplanabilir gübre miktarını (ton/yıl), HS_i i tipi hayvan sayısını, $BGÜ_i$ i türü hayvanın birim gübre üretimini (ton/ hayvan-yıl), TO_i ise toplanabilirlik oranını belirtmektedir.

Gübrelerin tamamının toplanması pratik olarak mümkün olmadığından bu çalışmada daha gerçekçi bir hesaplama yapmak için Denklem 1'de toplama oranı parametresi kullanılmıştır. Teorik biyogaz potansiyellerinin hesaplanması Denklem 2'de verilmiştir.

$$TMP_H = \sum TTG_i \times TKM_i \times UKM_i \times SMV_i \quad (3.2)$$

TMP_H hayvan gübresi kaynaklı toplam metan (CH_4) potansiyelini ($m^3 CH_4/yıl$), TKM_i i türü hayvan gübresinin toplam katı madde içeriğini, UKM_i i türü hayvan gübresinin uçucu katı madde içeriğini, SMV_i i türü hayvan gübresinin spesifik metan verimini ($m^3 CH_4/ton UKM$) belirtmektedir.

Atık ve çevre kirliliği sorunlarına yol açan hayvan sayısındaki artışa rağmen, uygun atık yönetimi ile biyogaz, enerji ve organik gübre elde edilebilir. Gübre ile ilgili hesaplamalarda kullanılan hayvan sayısı, Çad hayvancılık bakanlığı tarafından sağlanan verilerden elde edilmiştir ve sığır, keçi, koyun, kümes hayvanları (yumurta) ve kümes hayvanları olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 3.1. Metan üretimi için gübre karakteristikleri.

Hayvan türü	Birim Gübre Üretimi (Ton gübre/yıl)	Toplama Oranı	Toplam Katı Madde	Uçucu Katı Madde	Specifik Metan Verimi ($m^3CH_4/tonUKM$)	Ref.
Sığır	9,59	0,5	0,15	0,8	200	[66]–[70]
Koyun	0,75	0,13	0,25	0,2	300	
Keçi	0,87	0,13	0,3	0,2	300	
Deve	1,46	0,5	0,25	0,21	242	
Kümes	0,069	0,99	0,25	0,7	350	
At	7,45	0,3	0,3	0,2	300	
Eşek	4,45	0,3	0,3	0,2	260	
Domuz	1,46	0,5	0,2	0,3	300	

Elde edilebilecek toplam gübre miktarı hayvan sayısına, cinsine, büyüklüğüne, birim gübre üretimine ve toplama hızına bağlı olmakla birlikte, biyogaz miktarı gübre miktarına, toplam katı maddelere, uçucu katı maddelere ve metan verimine göre değişmektedir. Bu değerler literatürdeki çalışmalardan elde edilmiştir ve Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

Biyogaz üretiminde toplam katı madde, uçucu katı madde ve metan verimi gibi önemli faktörler hayvan türlerine göre değişmektedir. Çad'da maksimum metan potansiyeli sırasıyla sığır, kümes hayvanları, keçi, deve, eşek, koyun, at ve domuz gübrelere göre elde edilebilmektedir. Çizelge 3.2 Çad'ın toplam gübre ve gübre kaynaklı metan potansiyelini vermektedir.

Çizelge 3.2. Çad toplam gübre ve metan potansiyeli.

Hayvan türü	Hayvan sayısı Chad 2020	Toplanabilir gübre (ton gübre/yıl)	Toplam Metan Potansiyeli (m ³ CH ₄)	Toplam Elektrik Potansiyeli (kWh)
Sığır	32.237.210	117.665.816,50	2.823.979.596,00	
Koyun	38.705.279	3.773.764,70	56.606.470,54	
Keçi	41.190.044	4.658.593,98	83.854.691,58	
Deve	8.821.223	6.439.492,79	81.813.755,90	
Kümes	36.306.955	2.480.128,10	151.907.845,88	
At	1.322.760	2.956.368,60	53.214.634,80	
Eşek	3.860.282	5.153.476,47	80.394.232,93	
Domuz	2.953.337	2.155.936,01	38.806.848,18	
Toplam	165.397.090	145.283.577	3.370.578.076	13,401,418,429 kWh

1m³ Metan (CH₄) gazından teorik olarak 9.94 kWh elektrik enerjisi üretilir. Kojenarasyon sistemlerinde enerji dönüşümü %40 elektrik, %50 ısı enerjisi ve %10 kayıp olarak kabul edildiğinden elde edilen elektrik potansiyeli bu doğrultuda hesaplanmıştır.

3.6.2. Tarımsal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), tarımsal geçim kaynaklarını ve gıda güvenliğini değerlendirmek için 16 Aralık 2022 ile 10 Ocak 2023 tarihleri arasında Çad'da Acil Durumlarda Veri hane halkı araştırmasının (DIEM-Monitoring) dördüncü turunu gerçekleştirmiştir. Veriler Kanem, Lac, Moyen-Chari, Logone Occidental, Moyen-Kebbi Est ve Wadi Fira illerinde yüz yüze anketler yoluyla toplanmıştır. Toplam 5.310 hane ile görüşülmüştür. Veri toplama işlemi yağmur sezonundan sonra, hasat döneminde gerçekleştirilmiştir. Çad, susam tohumlarının en önemli tedarikçilerinden biridir. Beyaz ve siyah susam tohumları güney ve orta Çad'da yetiştirilmektedir. Mango, Kaju fıstığı, yer fıstığı ve hurma gibi diğer gıdalar Çad'da yaygın olarak yetiştirilir ancak paketlenmez, işlenmez veya ihraç edilmez [71].

Çad ülkesi tarımsal üretim istatistikleri Çad tarım bakanlığı tarafından şahsen istenmiş olup orijinal dildeki döküman tez sonunda ekler kısmına eklenmiştir. Elde edilebilen istatistik bilgileri aşağıdaki Çizelge 3.3 'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çad ülkesi tarımsal ürünler ekilen alanları.

Tür	2015-2016		2016-2017		2017-2018	
	Ekilen alan (ha)	Üretim (Ton)	Ekilen alan (ha)	Üretim (Ton)	Ekilen alan (ha)	Üretim (Ton)
<i>İnci darısı</i>	1.098.366	592.124	1.224.570	725.677	1.165.459	660.175
<i>Sorgum</i>	1.074.356	835.405	1.191.355	991.045	1.147.470	946.295
<i>Mısır</i>	304.942	349.500	348.716	443.779	335.637	396.506
<i>Pirinç</i>	170.012	243.478	182.404	257.701	191.029	263.555
<i>Berbere</i>	408.083	431.056	454.065	453.716	451.873	448.500
<i>Buğday</i>	689	965	871	1.742	950	1.870
<i>Yer fıstığı</i>	577.805	720.138	790.769	871.249	768.056	870.094
<i>Susam</i>	305.882	152.624	279.017	153.611	297.654	158.715
<i>Bezelye Öğütülmüş</i>	24.641	33.079	35.688	37.551	30.098	34.710
<i>Börülce</i>	204.282	138.088	211.453	144.070	209.309	151.974
<i>Manyok</i>	24.290	140.971	35.152	492.534	35.194	492.534
<i>Tatlı patates</i>	13.389	97.128	33.842	170.431	28.982	199.912
<i>Gölevez</i>	10.542	20.274	9.741	18.974	12.621	28.652

Bu bölümde tarımsal atıklardan elde edilen biyogaz miktarının elde edilmesi ile ilgili matematiksel ifadeler anlatılmaktadır.

Denklem 3, toplanabilir tarımsal atık miktarını hesaplamak için kullanılmıştır.

$$TTA = \sum HA_i \times BKP_i \times TO_i \quad (3.3)$$

TTA 'nın toplam toplanabilir tarımsal atığı (ton/yıl) temsil ettiği yerde, i tahıl tipidir, HA_i tahıl tipi i için yıllık hasat alanıdır (dekar (da)), BKP_i tahıl tipi i için birim kalıntı potansiyelidir (ton /da), TO_i tarımsal artıkların toplanma oranıdır.

Tarımsal atıklardan elde edilen biyogaz potansiyelinin hesaplanması Denklem 4'te verilmiştir.

$$TMP_T = \sum TTA_i \times BMP_{iT} \quad (3.4)$$

TMP_T , tarımsal atığın toplam CH_4 potansiyelini ($m^3CH_4/yıl$), BMP , tahıl türü i için tarımsal atığın birim metan (CH_4) potansiyelini (m^3CH_4/ton) belirtir.

Çizelge 3.4. Tarımsal atıkların metan potansiyeli.

Tahıl türü	Atık Miktarı (ton/da)	Toplanma Oranı	Birim metan üretimi CH ₄ (m ³ /ton)
Buğday	0,325	0,4	295,2
Arpa	0,2	0,4	351,9
Mısır	1,48	0,5	250,9
Pirinç	0,6	0,5	260,5
Yulaf	0,434	0,4	156
Çavdar	0,45	0,4	273,6
Ayçiçeği	0,6	0,5	154
Sorgum	0,66	0,5	295
İnci Darısı	0,2	0,5	295

Elde edilebilecek toplam tarımsal atık miktarı, ekilen alanın büyüklüğüne, dekarda üretilen tarımsal atık miktarına ve toplama oranına göre değişmektedir. Biyogaz miktarı, toplanabilir tarımsal atıkların toplam miktarına ve tarımsal atıkların birim metan verimine göre değişmektedir. Bu değerler literatürdeki çalışmalardan elde edilmiştir ve Çizelge 3.4'te gösterilmiştir [16, 22–24].

Tarımsal atık tahminlerinde bölgede en çok üretilen ilk 5 tarım ürününün hasat edildiği tarlalar kullanılmaktadır.

Çizelge 3.5. Çad Ülkesi tarımsal atık kaynaklı metan potansiyelleri.

Tahıl Tipi	Ekilen Alan	Toplanabilir Toplam Atık (ton)	Toplam Metan Potansiyeli (m ³ CH ₄)	Toplam Elektrik Potansiyeli (kWh)
Buğday	9.500	1.235,00	364.572	
Mısır	3.356.370	2.483.713,80	623.163.792	
Pirinç	1.910.290	573.087,00	149.289.163	
Sorgum	11.474.700	3.786.651,00	1.117.062.045	
İnci Darısı	11.654.590	1.165.459,00	343.810.405	
Toplam	28.405.450	8.010.145,80	2.233.689.977	

1m³ Metan (CH₄) gazından teorik olarak 9.94 kWh elektrik enerjisi üretilir. Kojenarasyon sistemlerinde enerji dönüşümü %40 elektrik, %50 ısı enerjisi ve %10 kayıp olarak kabul edildiğinden elde edilen elektrik potansiyeli bu doğrultuda hesaplanmıştır.

3.6.3. Kentsel Katı Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli

Çad'da hanelerin %71,4'ü evsel atıklarını bertaraf etmek için ana yöntem olarak izinsiz çöp dökmeyi kullanmaktadır. Bu durum kırsal alanlarda (%3,8) kentsel alanlara göre (%24,4) daha endişe vericidir. Tüketim toplumuyla karşı karşıya kalan toplumlar için evsel atık yönetimi giderek daha büyük bir sorun haline gelmektedir. Ayrıca, evsel atık yönetimi halk sağlığı, çevrenin korunması ve kentsel temizlik ve hijyen açısından ülke için büyük bir zorluk teşkil etmektedir [72].



Şekil 3.8. Çöp döküm sahası [73].

Kent sakinleri ya da haneler ürettikleri atıkları kendileri yönetmektedir. Şehirde halka açık çöp kutuları inşa edilmemiştir. Dolayısıyla, haneler atıklarından kurtulmak için onları yollara ya da boş arsalara bırakmaktadır.

Başkent'in 8. Bölgesi'ndeki Diguel mahallesinde, evsel atıkların döküldüğü yer olarak bilinen bir marigot var. Bu mahallede atıkları kendi yöntemleriyle yönetenler mahalle sakinleridir. Eğer sokağın ortasına atılmazsa, atıklar yakılmaktadır. "Her gün havada duman var. Bu dumanı soluduğumuz için bu mahallede hepimiz hasta olduk," diye yakınıyor bir Diguel sakini. Uzaktan bakıldığında Diguel'in bu bölgesi, gökyüzünü kaplayan dumanlar nedeniyle bir sanayi bölgesi gibi görünüyor. Bazen atıklar bataklığa atılıyor. Bu da bölge sakinlerini rahatsız eden bir çürüme kokusuna yol

açıyor. Sekizinci bölge komünü duruma yeterince ilgi göstermiyor. Bir başka bölge sakini, "Bazen belediye binasından gelenler bile diğer bölgelerde toplanan atıkları bu bataklığa döküyorlar" diyor.[73]

Çad'ın nüfusu 18 433 996 olup Çad'da 23 Şehir ve 314 Belediye bulunmaktadır [74] [75]. Atık toplama hizmeti 1,592,000 nüfusa sahip olan başkent Encemene ilinde bile tam anlamıyla verilememektedir. Atık hizmeti verilen belediye sınırları içerisindeki nüfus için bir potansiyel hesaplaması yapılabilmektedir [76].

Bu Tez'de örnek olarak sadece Başkenti Encemene şehrinin belediyesi olarak örnek alınmaktadır. Encemene belediyesinde elde edilen verilere göre günlük 16ton atık belediye tarafından toplanmakta olup aylık 480ton ve yıllık 5760ton atık toplanmaktadır.

Daha önce yapılmış olan akademik çalışmalarda yaz ve kış aylarına ait kişi başı belediye atık miktarlarının ortalaması alındığında, kişi başı ortalama belediye atık miktarı 1.15 kg/kişi-gün ve 0.42 ton/kişi-yıl olarak verilmiştir. Bu hesaplamalara göre mevcut toplanan atık miktarının tahmini çıkan atık miktarından çok daha az olduğu görülmektedir.

Kentsel katı atıklardan biyogaz üretimi amacıyla kullanılan iki genel yöntemin [biyometanizasyon ve LFG (Land-fill gas) üretimi] varlığı bilinmektedir. Biyometanizasyon yönteminde kentsel katı atıkların organik kısmının ayrıştırılır ve daha sonra anaerobik çürütme ile biyogaz üretilir. LFG (Land-fill gas) üretiminde kentsel katı atıkların düzenli depolama alanlarında biriktirilmesi ile biyogaz elde edilir, bu gaz LFG (Land- fill gas) veya deponi gaz olarak adlandırılır [77].

Depo gazı fiilen işletildiği dönem boyunca ve bu süreye ek olarak 10-20 yıl boyunca üretilebilir. Tipik özellikte bir evsel atığın depolama sahasının ömrü boyunca üretebileceği depo gazı oranı 200 m³/ton'dur. Depolama gazının %60'ı atık depolandıktan sonra 10 sene içinde oluşmaktadır. Bu miktar 15-20 sene içerisinde %90 seviyesine çıkmaktadır [78].

20 yıl süreyle ton başına elde edilebilecek çöp gazı üretim miktarı içerisinde bulundurduğu metan miktarına bağlı olarak 60-290 m³/ton arasında değişmektedir. Bu atığın %50-60'ı organik madde içerir ve atıktan elde edilecek gazın %50'si metandır [79].

Atık hizmeti verilen belediye sınırları içerisindeki nüfus için yıllık atık miktarı 668640 ton/yıl olur. 20 yıl için oluşacak toplam belediye atığı miktarı 13,372,800 ve çöp gazı üretim miktarının 200 m³/ton olduğu kabul edildiğinde, oluşacak çöp gazı miktarı yaklaşık 2,674,560,000 m³ olacaktır [80].

Teorik olarak elde edilebilecek gaz değerinin yaklaşık %40'ı pratikte elde edilebileceği kabul edildiğinde 20 yıl için 2,674,560,000 m³ olur [80].

Buna göre atık hizmeti verilen belediyelerin çöp gazı potansiyelinin yıllık değeri 53,491,200 m³ olur.

Çöp gazının alt ısıl değeri 18-27 MJ/Nm³ (5– 7.5 kWh/Nm³) arasında değişir 5 kWh/Nm³ alt ısıl değeri için çöp gazı potansiyelinin enerji değeri hesaplandığında, yaklaşık olarak 267,456,000 kWh olarak bulunur.

Yukarıda verilen hesaplamalar yapılarak Tablo 3.6 'da sonuç değerlerine yer verilmiştir.

Çizelge 3.6. Encemene'da kentsel katı atık kaynaklı biyogaz potansiyeli.

<i>Parametreler</i>	<i>Encemine</i>
Atık Hizmeti Verilen Belediye Sınırları İçerisindeki Nüfus	1,592,000 kişi
Kişi Başı Ortalama Belediye Atık Miktarı	1.15 kg/kişi-gün
Yıllık Belediye Atığı Miktarı Yaklaşık	≈ 0.42 ton/kişi-yıl
Atık Hizmeti Verilen Belediye Sınırları İçerisindeki Nüfus İçin Yıllık Atık Miktarı	668 640ton/yıl
20 Yıllık Toplam Atık Miktarı	13,372,800 ton
Çöp Gazı Üretim Miktarı	200 m ³ /ton
20 Yıllık Çöp Gazı Miktarı	2,674,560,000 m ³
20 Yıl İçin Pratikte Elde Edilebilen Biyogaz (Teoriğin %40'ı)	1,069,824,000 m ³
Çöp Gazı Potansiyelinin Yıllık Değeri	53,491,200 m ³
Çöp Gazının Alt Isıl Değeri (5 –7.5 kWh/Nm³)	5 kWh/Nm ³
5 kWh/Nm³ Alt Isıl Değeri İçin Çöp Gazı Potansiyelinin Enerji Değeri	267,456,000 kWh

3.6.4. Kentsel Atık Su Arıtma Çamuru Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli

Biyogaz elde etmek amaçlı kullanılan kaynaklardan biri de kentsel atıksu arıtma çamurudur. Atıksu; evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen/ tamamen değişmiş sudur. Kişi başına kullanılan su miktarı 200 Lt/kişi-gün ile 1000 Lt/kişi-gün arasında değişmektedir. Yüksek miktarlarda organik madde, besin maddeleri, patojen mikro organizmalar ve çok miktarda su içermeleri nedeniyle atıksuların arıtılması önem arz etmektedir [81].

Çamurun ısıl değeri, çamurun tipine ve içeriğindeki uçucu katı madde oranına bağlıdır. Arıtılmamış ön çökeltim çamurunun ısıl değeri, özellikle önemli miktarda yağ ve gres içeriyorsa çok yüksektir. Çürümüş çamur ham çamurdan daha düşük ısıl değere sahiptir. Çamurun ısıl değeri bazı düşük kaliteli kömürlerin ısıl değerine (7,700 cal/g kuru madde) eşdeğerdir. Ortalama olarak ham ön çökeltim çamurunun ısıl değeri 6,100 cal/g, aktif çamurun 5,000 cal/g ve anaerobik çürümüş çamurun 2,750 cal/g kadardır. Çamurun nihai bertaraf edilmesi için termal işlemler uygulanacaksa mümkün olduğunca çamurun suyu alınarak ısıl değeri arttırılmalıdır [82].

Arıtma çamurunun içerdiği organik maddelerin bir ısıl değerinin oluşu, tarım arazilerinde kullanılabilirliği ve çevreye vermiş olduğu zararların da önüne geçebilmek için değişik değerlendirme yöntemleri kullanılmaktadır. Biyogaz üretimi bu yöntemlerden biridir [83].

Evsel atıksu ön arıtma tesisinde kişi başına oluşacak gaz miktarı 0.015-0.022 m³/kişi-gün arasında değişir. İkincil arıtma tesislerinde ise bu değer yaklaşık olarak 0.028 m³/kişi-gün'dür. Oluşan gazın metan yüzdesi yaklaşık %65 olup, ısıl değeri yaklaşık olarak 22.4 MJ/m³'dür [39].

Bu Tez'de örnek olarak sadece Başkent Encemene şehrinin belediyesi olarak örnek alınmaktadır. Ve bu nüfus sayısına göre arıtma tesisi kurulduğunda elde edilebilecek biyogaz ve elektrik miktarı hesaplanmıştır.

2023 verilerine göre Encemene'nin toplam nüfusu 1,592,000 olarak belirtilmiştir [76]. Günlük olarak kişi başı oluşacak gaz miktarının evsel atıksu ön arıtma tesisinde 0.015-

0.022 m³/kişi-gün arasında değiştiği, ikincil arıtma tesislerinde ise yaklaşık olarak 0.028 m³/kişi-gün olduğu, oluşan gazın metan yüzdesinin %65 ve enerji değerinin de 22.4 MJ/m³ veya 6.22 kWh/m³ olduğu daha önce yapılan akademik çalışmalardan elde edilmiştir [39].

1,592,000 nüfusa sahip Encemene’de 0.025 m³/gün için oluşacak günlük gaz miktarı yaklaşık olarak 38124 m³, yıllık gaz miktarı ise yaklaşık 13,915,460 m³ olarak hesaplanır. 1 metreküp gaz ısıl değerinin yaklaşık 22.4 MJ/m³ olduğu bilindiğine göre, gazın enerji değeri 311,706,320 MJ/m³ olur. Elektriksel olarak bu değer yaklaşık 86,554,165 kWh değerine eşittir.

Çizelge 3.7. Encemene’de kentsel atıksu arıtma çamuru kaynaklı biyogaz potansiyeli.

Parametreler	Encemene
Toplam Nüfus	1,592,000
Oluşacak Günlük Gaz Miktarı	≈ 39800 m ³
Oluşacak Yıllık Gaz Miktarı	≈ 14,527,000 m ³
Oluşan Gazın Enerji Değeri	≈ 22.4 MJ/m ³ - 6.22 kWh/m ³
Yıllık Oluşan Gazın Enerji Değeri	≈ 325,404,800 MJ
Elektriksel Olarak Enerji Değeri	90,357,940 kWh

BÖLÜM 4

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çad ülkesinde hayvansal, tarımsal, kentsel katı atık, kentsel atık su arıtma çamuru kaynaklı biyogaz potansiyelleri ayrı ayrı hesaplanmış olup, Elde edilen biyogazın elektrik üretimi amacıyla kullanılması durumunda elde edilebilecek elektrik miktarı ayrı ayrı ve toplam olarak aşağıdaki çizelge 4.1 de verilmiştir. Burada Çad ülkesi ve ülkenin başkenti Encemene'nin ayrı verilme sebebi, hayvansal ve tarımsal kaynaklar ile ilgili ülkesel, kentsel atık kaynakları ile ilgili sadece başkent verilerine ulaşılması sebebiyledir.

Çizelge 4.1. Çad biyogaz kaynaklı elektrik potansiyeli.

	ÇAD	Encemine
Hayvansal Biyogazdan Elde Edilebilecek Elektrik Miktarı (kWh/yıl)	13,401,418,429	
Tarımsal Biyogazdan Elde Edilebilecek Elektrik Miktarı (kWh/yıl)	8,881,151,352	
Kentsel Katı Atık Biyogazından Elde Edilebilecek Elektrik Miktarı (kWh/yıl)		267,456,000
Kentsel Atıksu Arıtma Çamuru Kaynaklı Biyogazdan Elde Edilebilecek Elektrik Miktarı (kWh/yıl)		90,357,940
Toplam (kWh/yıl)	22,640,383,722 kWh/yıl 22640 GWH/ yıl	

Encemene ilinde elektrik tüketimi 2020 verilerine göre 188 460 MWh [84]. Çad ülkesi için yapılmış olan biyogaz potansiyelleri hesaplamalarına göre toplam üretilebilecek elektrik miktarı 22,640,383 MWh'tir. Buna göre üretilebilecek elektrik miktarı ile tüketilen elektrik miktarının karşılaştırılmasında biyogazdan üretilebilecek elektrik daha fazladır.

KAYNAKLAR

1. Caineng, Z. O. U., Xiong, B., Huaqing, X. U. E., Zheng, D., Zhixin, G. E., Ying, W., ... ve Songtao, W. U., "The role of new energy in carbon neutral", *Petroleum Exploration and Development*, 48 (2): 480-491 (2021).
2. Pan, L., Biru, A. ve Lettu, S., "Energy poverty and public health: Global evidence", *Energy Economics*, 101, 105-423 (2021).
3. İnternet: AONG, "What are the Energy Forms", <https://www.arab-oil-naturalgas.com/what-are-the-energy-forms/> (2023).
4. İnternet: Encyclopedie de L'energie, "Les Unites D'energie", <https://www.encyclopedie-energie.org/les-unites-denergie/> (2018).
5. İnternet: Wikipedia, "Energie Mecanique", https://fr.wikipedia.org/wiki/Énergie_mécanique (2023).
6. İnternet: Khan Academy, "What-is-Kinetic-Energy", <https://tr.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/a/what-is-kinetic-energy> (2023).
7. İnternet: Choisir, "Quelles Sont Les Differentes Formes D'energie", <https://www.choisir.com/energie/articles/158904/quelles-sont-les-differentes-formes-denergie> (2023).
8. Curnier, A., "Mécanique des solides déformables: Cinématique, dynamique, énergétique (1. Cilt)", *PPUR Presses Polytechniques*, (2005).
9. İnternet: Lesfurets, "Type D'energie", <https://www.lesfurets.com/energie/guide/marche-energie/type-energies> (2023).
10. İnternet: Ceysan Geri Kazanım, "Eenerji Kaynakları Nelerdir", <https://ceysangerikazanım.com/enerji-nedir-kisaca-enerji-kaynaklari-nelerdir/#:~:text=> (2023).
11. İnternet: Our World in Data, "Energy Production and Consumption", <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption> (2023).
12. İnternet: International Energy Agency, "Global Energy Review", <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/electricity> (2023).

13. Berahab, R., “The energy transition amidst global uncertainties: A focus on critical minerals, policy brief”, *Policy Center for the New South*, (2023).
14. Internet: Connaissance Des Energies, “BP Energy outlook 2023: Quelles Evolutions de la Consommation Mondiale D’énergie D’ici 2050”, <https://www.connaissancedesenergies.org/bp-energy-outlook-2023-quelles-evolutions-de-la-consommation-mondiale-denergie-dici-2050-230130> (2023).
15. Kfw, G., “La transition vers les énergies renouvelables en Afrique: Renforcer l'accès, la résilience et la prospérité, international renewable energy agency”, *United Arab Emirates*, (2021).
16. Ouagadji, B., “Enquête démographique et de santé, Tchad, 2004. Bureau central du recensement, Direction de la statistique, des études économiques et démographiques”, *Ministère du Plan et de L'aménagement du Territoire*, (2005).
17. EIA, U., *Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources*, (2013).
18. Internet: EIA U.S Energy Information Website, “Petroleum & Other Liquids”, https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=MTTIM_NUS-NCD_1&f=M_ (2023).
19. Internet: USAID, “From American People, Chad Power Africa Fact Sheet”, https://www.usaid.gov/powerafrica/chad_ (2023).
20. Meres, M., “Analyse de la composition du biogaz en vue de l’optimisation de sa production et de son exploitation dans des centres de stockage des déchets ménagers”, *HAL Open Science*, (2023).
21. Internet: InfraCo Africa, “Tchad: Djermaya Solar”, <https://infracoafrica.com/fr/project/djermaya-solar-28/> (2023).
22. Internet: InfraCo Africa, “Eclairer le Chemin Des Energirs Renouvelables au Tchad”, <https://infracoafrica.com/fr/project/djermaya-solar-2/#:~:text=Le> (2023).
23. Internet: Banque Europeenne D’investissement, “L’énergie Solaire: Une Brillante Idee Pour Le Tchad”, https://www.eib.org/fr/stories/solar-energy-shines-in-chad_ (2023).
24. Internet: European Union External Action, “L’Union Europeenne Finance Une Centrale Solaire Photovoltaïque au Tchad”, https://www.eeas.europa.eu/node/20280_en (2023).
25. Internet: African Union, “Tchad”, <https://au-afrec.org/fr/tchad#:~:text=élevées> (2023).

26. İnternet: Alwihdainfos, “Tchad: Le Biogaz, Une Alternative Du Bois De Chauffe”, https://www.alwihdainfo.com/Tchad-Le-biogaz-une-alternative-du-bois-de-chauffe_a2763.html (2023).
27. Boutin, O., “Analyse des processus primaires de dégradation thermochimique de la biomasse”, *HAL Open Science*, (2023).
28. Mustapha, A. ve Reda, B., “Etude d'un système photovoltaïque connecte au reseau”, *Université Mouloud Mammeri*, (2008).
29. İnternet: Association Québécoise de la Production D'énergie Renouvelable, “La Biomasse Technologie”, <https://aqper.com/fr/la-biomasse-technologie> (2023).
30. İnternet: Selectra Website, “Biomasse: Definition, Production, Et Avantages”, <https://selectra.info/energie/guides/environnement/biomasse> (2023).
31. Tse, T. J., Wiens, D. J. ve Reaney, M. J., “Production of bioethanol—a review of factors affecting ethanol yield”, *Fermentation*, 7 (4): 268 (2021).
32. Adigüzel, A. O., “Biyometanolün genel özellikleri ve üretimi için gerekli hammadde kaynakları”, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (2): 204-220 (2013).
33. İnternet: U.S Department of Energy, “Biodiesel Production and Distribution”, https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_production.html#:~:text= (2023).
34. İnternet: MalzemeBilimi.Net, “Biyodizel Nedir, Biyodizelin Faydaları”, <https://malzemebilimi.net/biyodizel-nedir-biyodizelin-faydalari.html> (2023).
35. Deviren, H., İlkiliç, C. ve Aydın, S., “Biyogaz üretiminde kullanılabilen materyaller ve biyogazın kullanım alanları”, *Batman Üniversitesi*, 80 (2023).
36. İnternet: T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Biyokütle”, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-biyokutle> (2023).
37. İnternet: Mon Energie Verte, “Quels Sont Les Avantages et Les Inconvénients de L'énergie Biomasse?”, <https://www.mon-energie-verte.com/quels-sont-les-avantages-et-les-inconvenients-de-lenergie-biomasse> (2023).
38. Abdennacer, C., Ali, G., Aymen, B., Erraouf, B.A. ve Houssem, L., “La Biomasse: Etude et Application”, *Université Batna2 Mustafa Ben Boulaid*, 7-13 (2023).
39. Houot, S., Pons, M.N., Pradel, M., Etrilland, C. Lupton, S. ve Tibi, A., “Cadrage de l'ESCO - Cadrage réglementaire: Qualification et régime juridique des matières fertilisantes d'origine résiduaire”, *Hal Open Science*, (2020).

40. Ìnternet: Picbleu, “Biomasse énergie Définition Enjeux et Avantages”, <https://picbleu.fr/les-articles/biomasse-energie-definition-enjeux-avantages> (2023).
41. Ìnternet: ProjetEcolo, “L'énergie Biomasse: Définition, Avantages et Inconvénients”, <https://www.projetecolo.com/l-energie-biomasse-definition-avantages-et-inconvenients-139.html> (2023).
42. Ìnternet: Wikipedia, “Part de la Biomasse Et Des Déchets Dans la Consommation Mondiale D'énergie Primaire”, [https://fr.wikipedia.org/wiki/Biomasse_\(énergie\)#cite_ref-21](https://fr.wikipedia.org/wiki/Biomasse_(énergie)#cite_ref-21) (2023).
43. Ìnternet: Revolution Energetique, Les 3 Centrales à Biomasse les Plus Puissantes Du Monde, <https://www.revolution-energetique.com/les-3-centrales-a-biomasse-les-plus-puissantes-du-monde/> (2023).
44. [Diallo, C.A. ve Fillol, E., “Production De Biomasse en 2022 Analyses et Perspectives Pour 2023”, *Ndjamena*, (2023).
45. Ìnternet: France Nation Verte, “Biocarburant”, <https://www.ecologie.gouv.fr/biocarburants#:~:text=> (2023).
46. Ìnternet: Government of Canada, “Biohydrogene”, https://www.btb.termiumplus.gc.ca/tpv2alpha/alpha-fra.html?lang=fra&i=1&srchtxt=BIOHYDROGENE&index=alt&codom2nd_wet=1#resultrecs (2023).
47. Ìnternet: Wikipedia, “Biogaz”, <https://fr.wikipedia.org/wiki/Biogaz> (2023).
48. Ìnternet: IFP Energies Nouvelles, “Qu'est-ce Que Le Biogas?”, <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-renouvelables/biogaz-et-biomethane-transformer-nos-dechets-en-energie> (2023).
49. Ìnternet: Queensland Government, “Biogas Production”, <https://www.business.qld.gov.au/industries/mining-energy-water/energy/renewable/projects-queensland/starting-biogas-project/biogaz-production#:~:text=> (2023).
50. Ìnternet: Chaplain Energie, “Biogaz”, <https://www.chaplainenergie.fr/biogaz/> (2023).
51. Ìnternet: Bigadan, “How to make Biogas, Produced from Organic, Thermophilic in the Plant's Digester”, <https://bigadan.com/p/biogaz-technology/how-to-make-biogas> (2023).
52. Ìnternet: Bigadan, “The Process to Make Biogas”, <https://bigadan.com/p/biogaz-technology/how-to-make-biogas#:~:text=> (2023).

53. İnternet: Gasum, “How is Biogas Produced”, <https://www.gasum.com/en/our-operations/biogas-production/how-is-biogas-produced/> (2023).
54. Goux, X., “Influence de différents facteurs opérationnels sur la structure des communautés microbiennes impliquées dans le processus de digestion anaérobie”, *Hal Open Science*, (2023).
55. İnternet: Chaplain Energie, “Biogaz”, <https://www.chaplainenergie.fr/biogaz/> (2023).
56. İnternet: PlanET, “Avantage Du Biogas”, <https://planet-biogaz.com/fr/avantages-du-biogaz/#:~:text=> (2023).
57. İnternet: Antargaz Energies, “Biogaz: Qu'est-Ce Que C'est et Comment L'utiliser?”, <https://www.antargaz.fr/guide-pratique/transition-energetique/biogaz> (2023).
58. İnternet: Porteplüm, “Biogaz: Avantages et Inconvénients”, <https://plum.fr/blog/energie-ecologie/biogaz-avantages-et-inconvenients/> (2023).
59. İnternet: Biogaz Tpe, “Le Biogaz Est-Il Une Solution D'avenir?”, <https://biogaztpe.wordpress.com/le-biogaz-notre-tpe/les-differents-point-de-vue/les-inconvenients/> (2023).
60. İnternet: Biogaz TPE, “Les Different Points de Vue” <https://biogaztpe.wordpress.com/le-biogaz-notre-tpe/les-differents-point-de-vue/> (2023).
61. İnternet: Gaz Energie, “Le Portail Pour Une Mobilité Plus Respectueuse du Climat”, <https://www.cng-mobility.ch/fr/article/record-7-milliards-de-m3-de-biogaz/#:~:text=> (2023).
62. İnternet: Gaz Energie, “Record: 7 Milliards de m³ de Biogas”, <https://www.cng-mobility.ch/fr/article/record-7-milliards-de-m3-de-biogaz/> (2023).
63. İnternet: LeParisien, “Dès 2030, 20 % Du Gaz Consommé en France Sera Renouvelable, Estime L'industrie Gazière”, <https://www.leparisien.fr/environnement/des-2030-20-du-gaz-consomme-en-france-sera-renouvelable-estime-lindustrie-gaziere-12-01-2023-EEF2F3IZUVCWVD6RPE3BFGHYIY.php> (2023).
64. İnternet: Wathi, “Présentation Générale Du Tchad”, <https://www.wathi.org/contexte-election-tchad-2021/presentation-generale-du-tchad/> (2023).
65. FAO., “Mozambique: DIEM – Data in Emergencies Monitoring Brief, Round 4 – Results and Recommendations”, *Rome*, (2023).
66. Çalışkan, M. ve Tumen Özdil, N. F., “Potential of Biogas and Electricity Production from Animal Waste in Turkey,” *Bioenergy Res.*, (2020).

67. Akyürek Z. ve Coşkun, S., “Determination of Biogas Energy Potential of Aegean Region Based on Animal Waste”, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, 15 (2): 171–174 (2019).
68. Ekinci, K., Kulcu, R., Kaya, D., Yaldiz, O., Ertekin, C. ve Ozturk, H., “The Prospective of Potential Biogas Plants that can Utilize Animal Manure in Turkey,” *Energy Explor. Exploit.*, 28 (3): 187–206 (2010).
69. Avcioglu, A. O. ve Türker, U., “Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16 (3): 1557–1561 (2012).
70. Melikoglu M. ve Menekse, Z. K., “Forecasting Turkey’s cattle and sheep manure based biomethane potentials till 2026,” *Biomass and Bioenergy*, 132: (2020).
71. İnternet: Wathi, “Instruments Internationaux Relatifs Aux Droits De L’homme: Tchad, 2019”, <https://www.awex-export.be/files/library/Fiches-Pays/AFPMO/Tchad/tchad.pdf> (2023).
72. Association nationales des communes du Tchad, “Implication des Autorites Locales Du Tchad Dans Le Processus De Programmation De La Cooperation Europeenne 2022-2027”, *Ndjamen*a, (2023).
73. İnternet: Tchadinfos, “Gestion et Traitement Des Déchets : Un Secteur à Explorer Par Les Entrepreneurs Tchadiens”, <https://tchadinfos.com/gestion-et-traitement-des-dechets-un-secteur-a-explorer-par-les-entrepreneurs-tchadiens/> (2023).
74. İnternet: Countrymeters, “Tchad”, <https://countrymeters.info/fr/Chad#:~:text=> (2023).
75. İnternet: Tchadinfos, “Tchad–Organisation administrative: 23 Provinces, 95 Départements et 365 Communes”, <https://tchadinfos.com/tchad-organisation-administrative-23-provinces-95-departements-et-365-communes/> (2023).
76. İnternet: Macrotrends, “NDjamena, Chad Metro Area Population 1950-2023”, <https://www.macrotrends.net/cities/20420/ndjamena/population> (2023).
77. Özkaya, B., Demir, A., “Kompost teknolojileri ve uygulama örnekleri”, *Organik Atıklardan Kompost ve Yenilenebilir Enerji Üretimi&Kompost Kullanım Alanları Çalıştayı-ORAK 2010*, İstanbul, (2010).
78. Kiriş, A., Saltabaş, F., “Katı atık düzenli depolama sahalarında depo gazı (LFG) yönetimi ve İstanbul uygulamaları”, *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu- TÜRKAY 2009*, İstanbul, (2009).
79. Bursa Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2015, “Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı”, Bursa, (2023).

80. İnternet: Filibeli A., “Su Kirlenmesi ve Kontrolü”, www.nilufer.bel.tr/kentsaglik/2_gun%5Csalon_a%5Cayse_filibeli.pdf (2023).
81. Türkmenler, H., Dilekoğlu, M. F., Aslan, M. ve Can, Z. R., “Arıtma çamurundan biyogaz üretimi: Adıyaman ileri biyolojik atıksu arıtma tesisi örneği”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3 (3): 59-62 (2018).
82. 18. Filibeli, A., “%22Arıtma Çamurlarının Genel Özellikleri%22, *Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi ve Çevre Görevlisi Eğiticisi Eğitim Programı Notları*, Ankara, (2009).
83. Kaya D., “Evsel kaynaklı arıtma çamurlarının biyogaz üretiminde kullanımının değerlendirilmesi”, *ICCI - Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı*, İstanbul, (2010).
84. DonneesMondiales.com, “Le Budget Énergétique au Tchad”, <https://www.donneesmondiales.com/afrique/tchad/bilan-energetique.php> (2023).

EK AÇIKLAMALAR A.

TABLolar

Çizelge Ek A.1. Tezde kullanılan tarımsal verilerin Tarım Bakanlık'tan orijinalı.

Tableau 1: Données de superficies et productions céréalières des 5 dernières années														
S = Superficie (ha) P = Production (Tonnes)														
Spécifications	Pénicillaire		Sorgho		Maïs		Riz		Berbéré		Blé		Total	
Campagne	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
2013-2014	1.071.144	555.583	1.094.277	799.235	333.665	417.986	215.146	378.246	46.411	469.558	665	1.757	3.179.095	2.622.364
2014-2015	1.103.180	694.751	1.095.365	921.662	285.993	332.889	193.717	304.112	533.307	494.445	622	809	3.212.184	2.748.668
2015-2016	1.098.366	592.124	1.074.356	835.405	304.942	349.500	172.012	243.478	408.083	431.056	689	965	3.058.448	2.452.528
2016-2017	1.224.570	725.677	1.191.355	991.045	348.716	443.779	182.404	257.701	454.065	453.716	871	1.742	3.401.980	2.873.660
2017-2018	1.165.459	660.175	1.147.470	946.295	335.637	396.506	191.029	263.555	451.873	448.500	950	1.870	3.292.417	2.716.900
Source:	DSA													

Çizelge Ek B.1. Tezde kullanılan hayvansal verilerin Hayvan Bakanlık'tan original hali.

EFFECTIFS DU CHEPTEL DE 1976 A 2020									
ANNEE/ESPECE	BOVINS	OVINS	CAPRINS	CAMELINS	EQUINS	ASINS	PORCINS	TOTAL BETAIL	VOLAILLES
2017	27 604 500	30 791 242	34 408 208	7 285 669	1 167 006	3 186 647	2 093 492	106 536 764	35 296 545
2018	29 069 601	33 230 856	36 534 693	7 765 258	1 216 772	3 397 001	2 347 931	113 562 111	35 630 184
2019	30 612 462	35 863 764	38 792 597	8 276 416	1 268 659	3 621 240	2 633 293	121 068 431	35 966 978
2020	32 237 210	38 705 279	41 190 044	8 821 223	1 322 760	3 860 282	2 953 337	129 090 134	36 306 955

ÖZGEÇMİŞ

Abdoulaye Bouhari MOCTAR NJOYA, İbnou Cina Lisesi'nden mezun oldu. 2019 yılında Batman Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Lisans mezuniyetinden sonra Ankara'da TAC (Turkish American Council) dil kursunda İngilizce eğitimi aldı. 2020 yılında Karabük Üniversitesi'nde Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında lisansüstü eğitimi başladı.