



**EVSEL VE YEMEKHANE ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİMİNE
İŞLETİM KOŞULLARIN ETKİSİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
İNCELENMESİ**

ÖZKAN CEYHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Özkan CEYHAN

14/06/2022

EVSEL VE YEMEKHANE ATIKLARINDAN BİYOGAZ ÜRETİMİNE İŞLETİM KOŞULLARININ ETKİSİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Özkan CEYHAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2022

ÖZET

Hammade olarak yemek atıkları, sebze ve meyve atıklarının kullanıldığı biyogaz çalışmalarının literatürde yer alan verileri kullanılarak bekleme süresi, sıcaklık ve katı madde oranı parametrelerinin biyogaz üretimine etkisi yapay sinir ağlarının kullanıldığı 11 farklı modelde incelenmiştir. Nöronlardan birkaçı kullanılmaz halde olsa bile, ağ bağlantılarında saklanan anlamlı verilerin kaybı meydana gelmediği ve geleneksel yöntemlere göre verilen korunması ve saklanması, yapay sinir ağlarında daha gelişmiş olduğu için bu çalışmada yapay sinir ağları kullanılmıştır. Gizli katman sayısı her model için 10 olarak seçilmiştir. Model-6.2 için 4 adet gizli katman da kullanılmıştır. Hammaddesi yemek atıkları olan Model-6, bekleme süresi ve katı madde oranı bağımsız girdi değişkenlerinin biyogaz verimi ile olan ilişkisini belirten bir model olarak $R_6 = 0.87$ değeri ile en iyi sonuç veren model olmuştur. R_6 değeri için R^2 değeri yaklaşık 0,77 olarak bulunmuştur. Yani bu Model-6 bağımsız değişkenleri biyogaz bağımlı değişkeninin yaklaşık %77'sini açıklayabilmektedir. Model-6.1'de ise Model-6'ya uygulanan aynı işlemler kullanılmıştır. Model-6.1'in bağımsız girdi değişkeni sadece bekleme süresidir ve bekleme süresi tek başına biyogaz üretimini yaklaşık %60 oranında açıklamaktadır. Model-6'dan sonra en iyi sonuç veren model ise bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız girdi parametrelerini içeren hammaddesi yemek atıkları olan Model-8'dir ve değeri $R_8 = 0.81$ 'dir. Model-8 bağımsız değişkenleri biyogaz üretimini yaklaşık %67 oranında açıklamaktadır. At, deve ve inek gübrelerinden elde edilmiş biyogazın bağımsız girdi değişkenlerinde ise en iyi sonucu bekleme süresi, sıcaklık, katı madde oranı ve pH ile biyogaz arasındaki ilişkiyi açıklayan $R_{10} = 0,86$ değeri ve yaklaşık %81 açıklanabilirlik oranı ile Model-10 vermiştir. Model-10'dan sonra en iyi sonucu ise bekleme süresi bağımsız girdi değişkeni ile biyogaz bağımlı girdi değişkenlerini içeren Model-11 vermiştir ve değeri $R_{11} = 0,85$ 'tir. $R_{11} = 0,85$ korelasyon değeri esas alınarak Model-11'de bağımsız değişken olan bekleme süresinin biyogaz üretimini açıklama oranı yaklaşık %75'tir. Yemek atıkları, sebze ve meyve atıklarından elde edilen biyogaza etki eden parametreler ile at, deve ve inek gübresinden elde edilen biyogaza etki eden parametreler kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu bekleme süresi parametresinin biyogaz üretimine en çok etki eden parametre olduğu gözlenmiştir.

Bilim Kodu : 90319

Anahtar Kelimeler : Yemek atıkları, biyogaz, yapay sinir ağları, evsel atık

Sayfa Adedi : 112

Danışman : Prof. Dr. İrfan AR

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF OPERATING CONDITIONS ON BIOGAS
PRODUCTION FROM DOMESTIC AND DINING WASTES BY USING ARTIFICIAL
NEURAL NETWORKS

(M. Sc. Thesis)

Özkan CEYHAN

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2022

ABSTRACT

Using the data of previous biogas studies taken from literature, as the raw material such as food waste, vegetable and fruit waste were used. The relationship between the parameters of retention time, temperature and solid matter ratio and biogas was investigated in 10 different models using artificial neural networks. For Model-6.2, 4 hidden layers were also used. Artificial neural networks have been used in this study. Even if a few of the neurons are unused, the loss of meaningful data stored in network connections does not occur and the protection and storage of data is more advanced in artificial neural networks compared to traditional methods. The number of hidden layers was chosen as 10 for each model. Model-6, whose raw material is food waste, was the model that gave the best results with the value of $R_6 = 0.87$ and represents approximately 77% of the biogas yield, as a model indicating the relationship between the independent input variables of retention time and solids ratio and biogas production. In Model-6.1, the same procedures applied to Model-6 were used. The independent input variable of Model-6.1 is only the retention time, and the retention time alone explains approximately 60% of the biogas production. The second model, that gives the best results after Model-6 is Model-8, whose raw material is food waste and including retention time and temperature as independent input parameters, with value of $R_8 = 0.81$ and it represents approximately 67% of the biogas yield. In the independent input variables of biogas obtained from horse, camel and cow manure, Model-10 gave the best result with $R_{10} = 0.86$, which includes the independent input variables of retention time, temperature, solids content, and pH, and it approximately explains 81% of the biogas production. After Model-10, Model-11, gave the best result and its value is $R_{11} = 0.85$ and it approximately explains 75% of the biogas production. Independent parameter is only retention time for Model-11. The parameters affecting the biogas obtained from food waste, vegetable and fruit wastes and the parameters affecting the biogas obtained from horse, camel and cow manure were compared. As a result of the comparison, it has been observed that the retention time is the most influential parameter in the production of biogas.

Science Code : 90319

Key Words : Dining hall wastes, biogas, artificial neural networks, domestic wastes

Page Number : 112

Supervisor : Prof. Dr. İrfan AR

TEŞEKKÜR

Tez sürecimin başlangıcından bitişine kadar anlayışını ve yardımlarını esirgemeyen, beni cesaretlendiren, verdiği değerli fikirlerle zihnimi yeni ufuklara açan çok kıymetli tez danışman hocam; Sayın Prof. Dr. İrfan AR'a teşekkür ederim. Bu çalışmayı destekleyen Gazi Üniversitesi BAP Birimine 06/2018-30 numaralı BAP Projesi kapsamında verdikleri destek için teşekkür ederiz.

Bu süreçte desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, değerli büyüğüm C. Haluk ÖZALP'e, değerli arkadaşlarım Furkan AKDEMİR ve Emre ÖZALP'e ve onların nezdinde fikirlerini benimle paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen diğer tüm arkadaşlarıma canı gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Biyogaz Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2. Biyogazın Tarihçesi.....	4
2.3. Biyogaz Kaynakları.....	4
2.4. Biyogazın Oluşum Safhaları	7
2.4.1. Hidroliz aşaması.....	7
2.4.2. Asit oluşum aşaması	8
2.4.3. Metan oluşum aşaması	9
2.5. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler	10
2.5.1. Sıcaklık	11
2.5.2. Ph ve uçucu yağ asitleri	12
2.5.3. Karbon azot oranı (c/n oranı).....	13
2.5.4. İşlem görme (alıkonma) süresi.....	14
2.5.5. Organik yükleme oranı (olr)	15
2.6. Yemek Atıklarının Anaerobik Arıtım Sürecinin Sınıflandırılması	16

	Sayfa
2.6.1. Kuru ve yaş sindirim.....	18
2.6.2. Mezofilik ve termofilik sindirim.....	18
2.6.3. Kesikli sistemler.....	19
2.6.4. Sürekli sistemler.....	20
2.6.5. Tek kademeli süreç	21
2.6.6. İki ya da çok kademeli süreçler	22
2.7. Anaerobik Arıtım Sürecini Geliştiren Faktörler.....	22
2.7.1. Birlikte sindirim (co-digestion).....	22
2.7.2. Ön arıtım	26
2.8. Gıda Atıklarının Küresel Boyutu	28
2.9. Gıda Atıklarının Türkiye’deki Durumu	29
2.10. Türkiye’de Biyogaz.....	30
3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	35
4. MATERYAL VE METOT YAPAY SİNİR AĞLARI.....	51
4.1. Yapay Sinir Ağları Genel Özellikleri ve Çalışma Prensibi (YSA)	51
4.1.1. Yapay sinir ağları avantaj ve dezavantajları	53
4.1.2. Yapay sinir ağlarının sınıflara ayrılması.....	55
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	59
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	89
EK-1. Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi	90
EK-2. Diyarbakır ili sebze ve meyve atıklarından biyogaz potansiyelinin araştırılması	99
EK-3. Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi.....	101

Sayfa

EK-4. Meyve ve sebze atıklarından biyogaz üretimi için ilgili parametreler ve değerleri.....	106
EK-5. Anaerobik fermantasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden biyogaz üretimi	108
ÖZGEÇMİŞ.....	112

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Biyogazın bileşimi.....	3
Çizelge 2.2. Farklı kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve hacimsel metan oranları	6
Çizelge 2.3. Yemek atıkları için farklı anaerobik arıtım süreçlerinin karşılaştırılması.	16
Çizelge 2.4. Yemek atıklarının diğer substratlarla birlikte sindirimi, işletme parametreleri ve metan üretimlerinin karşılaştırılması.	25
Çizelge 2.5. Yemek atıklarının anaerobik sindirimini geliştirmek için kullanılan ön arıtım yöntemlerinin karşılaştırılması.....	27
Çizelge 2.6. Ülkemizin yıllık elektrik enerji miktarları ve enerji kaynaklarının oransal payları.....	31
Çizelge 2.7. Türkiye’de bulunan biyogaz ve biyokütle tesisleri bilgileri	32
Çizelge 4.1. Yapay sinir ağları ve geleneksel algoritmaların kıyaslanması.	54
Çizelge 5.1. Her bir modele ait bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenler.	74

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Biyogaz oluşum safhası	3
Şekil 2.2. Kompleks organik moleküllerin daha küçük yapıdaki monomerlere dönüşmesi.....	8
Şekil 2.3. Biyogazın oluşum aşamaları	9
Şekil 2.4. Biyogazın oluşum aşamaları	10
Şekil 2.5. Biyogaz oluşum aşamalarının her evresi ve her bir evrede rol oynayan bakteriler ile birlikte gösterimi.....	13
Şekil 2.6. (a) Tek kademeli kuru kesikli çürütücü (b) İki kademeli kuru kesikli çürütücüler (c) Yukarı yatay akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör ile bağlı ardışık beslemeli filtre yataklı çürütücüler reaktörlerdir.....	20
Şekil 2.7. İki kademeli anaerobik arıtım sisteminin şematik genel görünümü	22
Şekil 2.8. Yemek atıklarının yardımcı substrat ile birlikte sindirimi ve başlıca yararları.	24
Şekil 2.9. Ülkemizde 1 günde üretilen elektrikte etkisi olan çeşitli enerji kaynaklarının yüzde oranları.....	31
Şekil 4.1. Basit yapay sinir ağı mimarisi.....	51
Şekil 4.2. En çok kullanılan aktivasyon ve transfer fonksiyonları.....	52
Şekil 4.3. İleri ve geri beslemeleri ağların yapıları	56
Şekil 5.1. Model-1 bekleme süresi ve biyogaz arasındaki ilişki.	60
Şekil 5.2. Model-2 bekleme süresi, sıcaklık, katı madde oranı bağımsız değişkenlerinin bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki.....	61
Şekil 5.3. Model-5 katı madde oranı bağımsız değişkeninin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki.....	63
Şekil 5.4. Model-6 bekleme süresi ve katı madde oranının bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişkisini içeren yapay sinir ağları ve katmanları	64
Şekil 5.5. Model-6 bekleme süresi ve katı madde oranının bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki grafiği.	65
Şekil 5.6. Model-6.1 bekleme süresi bağımsız değişkeninin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki grafiği.	66

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. Model-7 katı madde ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki grafiği ve R_7 değeri.	67
Şekil 5.8. Model-7 katı madde oranının ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişkisini içeren yapay sinir ağları ve katmanları genel görünümü.....	67
Şekil 5.9. Model-8 bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki grafiği ve R_8 değeri.	68
Şekil 5.10. Model-8 bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişkisini içeren yapay sinir ağları ve katmanları genel görünümü	68
Şekil 5.11. Model-10 ve R_{10} değeri.....	69
Şekil 5.12. R_{10} değerlerini oluşturan yapay sinir ağları genel görünümü	70
Şekil 5.13. EK-5 normalize değerleri kullanılarak bekleme süresi bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki Model-11’de R_{11} olarak gösterilmiştir.	71
Şekil 5.14. EK-5 normalize değerleri kullanılarak katı madde oranı bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki.....	72
Şekil 5.15. EK-5 normalize değerleri kullanılarak pH bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki.....	73
Şekil 5.16. EK-5 normalize değerleri kullanılarak sıcaklık bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki Model-14’te R_{14} olarak gösterilmiştir.	74

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Bitkisel kaynaklı atıklar	5
Resim 2.2. Hayvansal kaynaklı atıklar	5
Resim 2.3. Endüstriyel kaynaklı atıklar	6
Resim 2.4. Biyogaz üretilen ortamlar.....	7
Resim 2.5. Metan bakterilerinin ve metan oluşumun mikroskopik görünümü.....	10

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
°C	Sıcaklık (Santigrat)
CO ₂	Karbondioksit
H ₂	Hidrojen
HCO ₃	Bikarbonat
mg	Miligram
L	Litre
CH ₄	Metan
CaCO ₃	Kalsiyumkarbonat
H ₂ S	HidrojenSülfür
C/N	Karbon / Azot Oranı
R	Correlation Coefficient
R ²	Determination Coefficient

Kısaltmalar	Açıklamalar
HRT	Hydraulic Retention Time
K/A	Katı Madde Oranı / Aşı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
OLR	Organic Loading Rate
SRT	Solid Retention Time
TUKM	Toplam Uçucu Katı Madde
UKM	Uçucu Katı Madde
UYA	Uçucu Yağ Asitleri
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Kentleşme, tarım ve endüstriyel faaliyetler sonucu meydana gelen organik atıklar, finansal ve çevresel açıdan problemlere yol açmaktadır. Organik atıklar, çoğunlukla etkin bir şekilde değerlendirilmeden doğaya bırakılmakta, depolanmakta, yakılmakta ya da etikili bir şekilde kullanılmamaktadır. Belirtilen uygulamalar neticesinde organik atıkların, tamamen bozunması sağlanamamakta ve ülkenin finans kaynağı olarak önemli bir yeri olmasına rağmen, çevre, doğa ve insan sağlığı için tehlike faktörü haline gelmektedir. Kontrolsüz depolanan ve ayrışan atıklar, sağlığınıza olumsuz etki eden ve iklim değişikliğinde önemli rol oynayan CH₄ ve CO₂ gibi sera gazlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Organik atıkların kontrolsüz depolanması, koku, sinek ve patojen oluşumu ile sağlık şartlarının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Nitrat birikimi, toprak yapısı ile toprağın bakteri yapısının bozulmasına, nitratin yüzey ve yeraltı sularına karışarak sebze-meyve tüketimi ve içme suyu aracılığıyla da insan ve diğer canlı habitatını tehdit etmesine neden olabilmektedir. Temiz bir enerji kaynağı olan biyogaz başlıca hayvan gübresi olmak üzere özel olarak yetiştirilen bazı bitkilerden, tarımsal ve her türlü organik atıktan ortam için ideal mikroorganizmaların yardımıyla anaerobik arıtım sonucunda elde edilmektedir (Deviren ve ark, 2017).

Dünya çapındaki ekonomik gelişme ve nüfusun büyümesi ile gıda atıkları artmaktadır. Çoğunlukla bu gıda atıkları restoranlar, aileler, kantinler, şirketler ve oteller tarafından üretilmektedir. 2010 yılında Çin'de yiyecek atıkları miktarı yaklaşık 90 milyon tonu bulmuştur ve giderek artmaktadır (Zhang ve ark, 2014).

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Biyogaz Hakkında Genel Bilgiler

Biyogaz, her türlü organik maddenin, özellikle hayvan gübreleri ve bitki artıklarının, oksijensiz koşullarda fermantasyonu sonucu oluşan bir gaz karışımıdır. Bileşiminde metan ve karbondioksit bulunan, ısı değeri yüksek olan yenilenebilir bir enerji kaynağıdır (Gülen ve Çeşmeli, 2012).



Şekil 2.1. Biyogaz oluşum safhası (Günel, 2017)

Biyogazın özellikleri şunlardır: Havadan hafiftir, renksiz ve kokusuzdur, yandığında alev rengi parlak ve mavidir, %40-70'ini metan, %30-60'ını karbondioksit, %0-3'ünü hidrojen sülfür, %0-1'ini azot, %0,1'ini karbon monoksit ve %0.1'ini oksijen oluşturmaktadır, 0,83 g/L yoğunluğa sahiptir, oktan sayısı 110 olarak ifade edilmektedir, yanma sıcaklığı 700 °C iken alev sıcaklığı 800 °C'dir. Biyogazın içerisindeki metan, karbondioksit ve diğer bileşenlerin yüzdeleri biyogazın elde edildiği organik maddelerin bileşimine göre değişiklik göstermektedir (Ağayev, 2011).

Çizelge 2.1. Biyogazın bileşimi (Günel, 2017)

Gaz	Miktar (%)
Metan	60-70
Karbondioksit	30-40
Su buharı (H ₂ O)	0-10%
Azot (N ₂)	0-2
Oksijen (O ₂)	0-0,5
Hidrojen (H ₂)	0-1
Amonyak (NH ₃)	0-0,5
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	20-4000 ppm
Isıl değer (kWh/Nm ³)	6.5

2.2. Biyogazın Tarihçesi

Biyogazın tarihçesine baktığımızda 17 YY' da kimyager Jan Baptista Van Helmont organik maddelerin bozunmasıyla yanıcı bir gazın ortaya çıktığını gözlemlemiştir. 1776 yılında ise İtalyan Fizikçi Alessandro Volta, kullanılan organik madde miktarı ile bu madde miktarından oluşan gaz miktarı arasında doğrudan bir ilişki olduğunu saptamıştır. 1804-1808 yılları arasında ise İngiliz kimyager Humphry Davy ve John Dalton, birbirinden bağımsız çalışmaları ile açığa çıkan gaz içerisinde metan tespit etmiştir. 1868 yılında ise Bechamp, organik maddenin süresince, metan oluşumunun mikrobiyolojik bir süreçten geçtiğini belirtmiştir. 1890'lı yıllara gelindiğinde ise Omelianski, selülozdan metan oluşumu esnasında açığa çıkan hidrojen, asetik asit ve bütirik asidin salınımının sebebinin izole edilmiş mikroplar olduğunu bildirmiştir. Ayrıca metanın, hidrojen ve karbondioksit tepkimesi ile mikroorganizmalar vasıtasıyla oluşabilme ihtimaline değinmiştir. 1910 yılında ise Sohngen, Omelianski'nin bu görüşünü desteklemiştir. Ek olarak kompleks maddelerin fermentasyonunun, hidrojen, karbondioksit ve asetik asit oluşturmak için yükseltgenme-indirgenme tepkimeleri vasıtasıyla ortaya çıktığını belirtmiştir. Daha sonra hidrojen ve karbondioksitin tepkimeye girerek metan oluşturduğunu göstermiştir. Sohngen'in bu bulguları yıllarca oldukça tartışmalı kalmıştır. Fakat günümüzde önemli olduğu görülmektedir (Abbasi ve ark, 2012).

2.3. Biyogaz Kaynakları

Yapısında selüloz, karbonhidrat, yağ, protein ve hemiselüloz barındıran çeşitli biyoküteller, biyogaz elde etmek amacıyla ham madde olarak kullanılabilir. Ayrıca biyogaz üretimi için kullanılacak biyokütle kaynağı yanı sıra, biyokütleyle uygun sürecin de seçilmesi önem arz etmektedir (Yokuş, 2011). Biyogaz elde etmek amacıyla şu maddeler kullanılmaktadır (Yokuş, 2011) :

- Orman endüstrisi atıkları
- Zirai atıklar
- Deri endüstrisi atıkları
- Tekstil endüstrisi atıkları
- Kâğıt endüstrisi atıkları
- Gıda endüstrisi atıkları

- Sebze, meyve, tahıl ve yağ endüstrisinden meydana gelen atıklar
- Bahçe atıkları
- Yemek atıkları
- Büyükbaş ve küçükbaş hayvan gübreleri
- Şeker endüstrisi atıkları
- Evsel atıklar
- Atık su arıtma tesisi atıkları

Biyogaz elde etmek amacıyla kullanılan maddelerin biyogaz verimleri ve hacimsel olarak metan oranları çeşitlilik göstermektedir. Çizelge 2.2’de biyogaz üretiminde kullanılabilme potansiyeli olan maddelerin metan yüzdeleri ve biyogaz verimi gösterilmektedir.



Resim 2.1. Bitkisel kaynaklı atıklar (Günel, 2017)



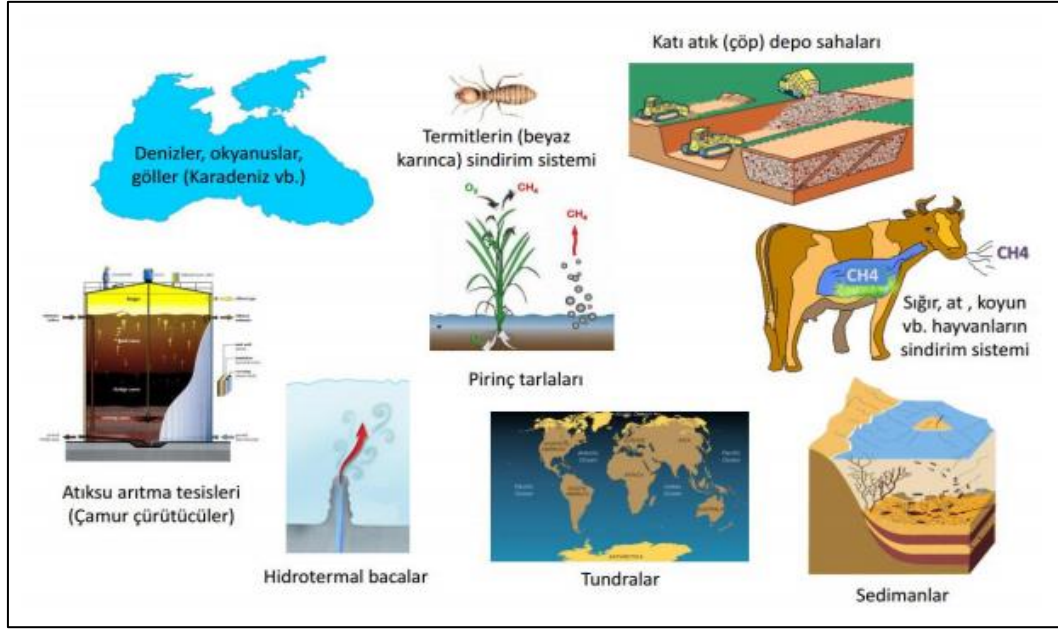
Resim 2.2. Hayvansal kaynaklı atıklar (Günel, 2017)



Resim 2.3. Endüstriyel kaynaklı atıklar (Günel, 2017)

Çizelge 2.2. Farklı kaynaklardan elde edilebilecek biyogaz verimleri ve hacimsel metan oranları (Yokuş, 2011)

Kaynak	Biyogaz Verimi (litre/kg)	Metan Oranı (hacimsel %)
Sığır Gübresi	90-310	65
Kanatlı Gübresi	310-620	60
Domuz Gübresi	340-550	65-70
Buğday Samanı	200-300	50-60
Çavdar Samanı	200-300	59
Arpa Samanı	290-310	59
Mısır sapları ve artıkları	380-460	59
Keten & Kenevir	360	59
Çimen	280-550	70
Sebze artıkları	330-360	Değişken
Ziraat atıkları	310-430	60-70
Yerfıstığı kabuğu	365	---
Dökülmüş ağaç yaprakları	210-290	58
Algler	420-500	63
Atık su çamuru	310-800	65-80



Resim 2.4. Biyogaz üretilen ortamlar (Günel, 2017)

2.4. Biyogazın Oluşum Safhaları

Biyogaz oluşumu üç safhada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar aşağıda sunulmuştur.

2.4.1. Hidroliz aşaması

Hidroliz aşamasında karbonhidratlar, proteinler ve yağlar, fakültatif bakteriler ve hidroliz bakterileri tarafından daha basit moleküller olan alkol, aminoasit, şeker ve uzun zincirli yağ asitlerine dönüştürülürler. Substratın hidrolizi süresince farklı türde bakteriler, hücre dışında etkili enzimler üreterek rol alırlar. Karbonhidratların hidrolizi için, selüloz, hemiselüloz, ksilenaz ve amilaz enzimleri *Clostridium*, *Acetivibrio* ve *Staphylococcus* bakterilerini kapsayan bakteriler tarafından üretilir. Proteinlerin yıkımı için proteaz enzimi, *Clostridium*, *Vibrio*, *Peptococcus*, *Bacillus*, *Proteus*, and *Bacteroides* gibi bakteriler tarafından üretilmektedir. Ayrıca yağların parçalanması için ise lipaz ve fosfolipaz enzimleri, *Clostridium*, *Micrococcus* ve *Staphylococcus* bakterileri tarafından üretilmektedir (Çakmak, 2019).

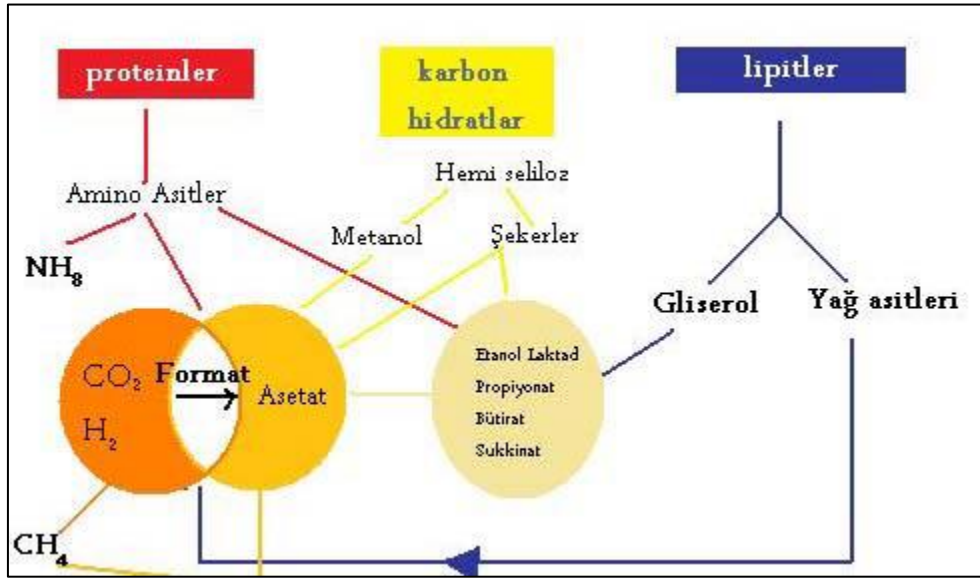
Kompleks moleküllerin hidrolizi için gerekli zaman dilimi molekülün yapısına göre değişiklik göstermektedir. Örnek olarak karbonhidratların hidrolizi birkaç saat gerekli iken, protein ve yağlar için bu süre birkaç günü bulabilmektedir. Lignin, ligniselülozlar ve

türevleri gibi daha karmaşık yapıdaki organik moleküllerin hidrolizi çok yavaştır ve tam hidrolize ulaşılmayabilir (Çakmak, 2019).

Hidroliz aşaması, yukarıda da belirtildiği gibi;

Karbonhidratların	likoz, pentoz ve heksoza
Yağların	alkoller, asitler ve hidrojene
Proteinlerin	polipeptid ve aminoasitlere
Selülozun	Lignin ve hemiselüloza

dönüştüğü aşamadır (Günel, 2017).



Şekil 2.2. Kompleks organik moleküllerin daha küçük yapıdaki monomerlere dönüşmesi (Yokuş, 2011)

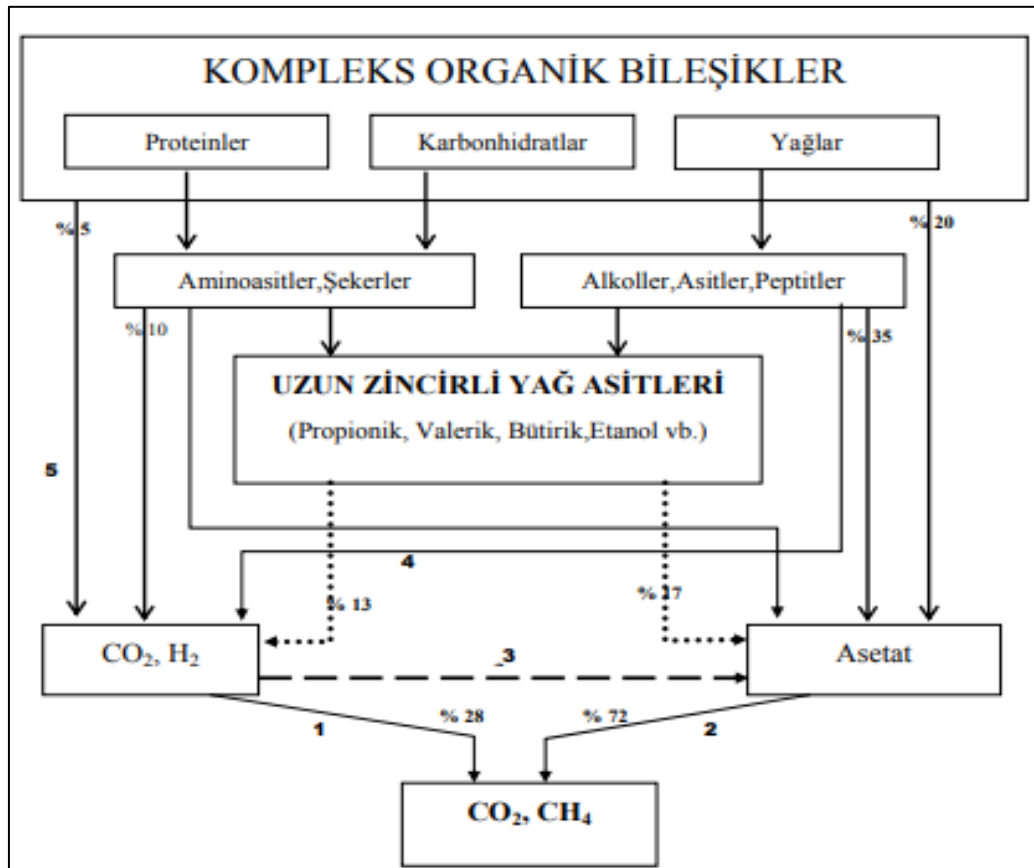
2.4.2. Asit oluşum aşaması

Asit oluşum aşamasında, hidroliz aşamasında oluşan daha basit yapıları küçük moleküller, bütirik asit, asetik asit ve propiyonik asit olarak uçucu yağ asitlerine dönüştürülürler. Uçucu yağ asitleri yanı sıra asetat ve alkollerde bu aşamada meydana gelmektedir. Asit oluşum aşamasında görev yapan bakterilere Lactobacillus, Micrococcus, Pseudomonas, Desulfuromonas ve Streptococcus bakterileri örnek olarak verilebilir. Uçucu yağ asitleri, asit oluşum aşamasında Syntrophobacter ve Syntrophomonas gibi bakteriler yardımıyla asetat ve hidrojene dönüştürülür. Asit oluşturan bakteriler kısmi hidrojen basıncına karşı duyarlıdır. Düşük kısmi hidrojen basıncı koşullarında H_2 ve CO_2 meydana getirirler

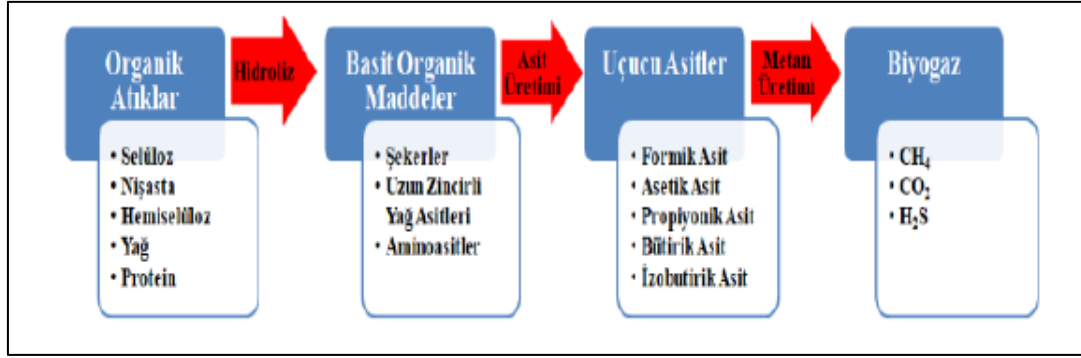
iken, yüksek kısmi hidrojen basıncı koşullarında bütirik, karbonik, propiyonik, valerik asit ve etanol üretebilirler. Ancak metan oluşturan bakteriler, yüksek kısmi hidrojen basıncı koşulunda yaşayabilir ve sadece asetat, H_2 ve CO_2 'i kullanabilirler. Asit oluşturan bakteriler ile metan oluşturan bakteriler arasında sintrofi ismi verilen bir birlikte yaşam birlikteliği bulunur. Asit oluşum evresi, metan oluşturan bakterilerin yaklaşık %70'i bu evrede asetatın azalmasıyla oluştuğundan önemlidir (Çakmak, 2019).

2.4.3. Metan oluşum aşaması

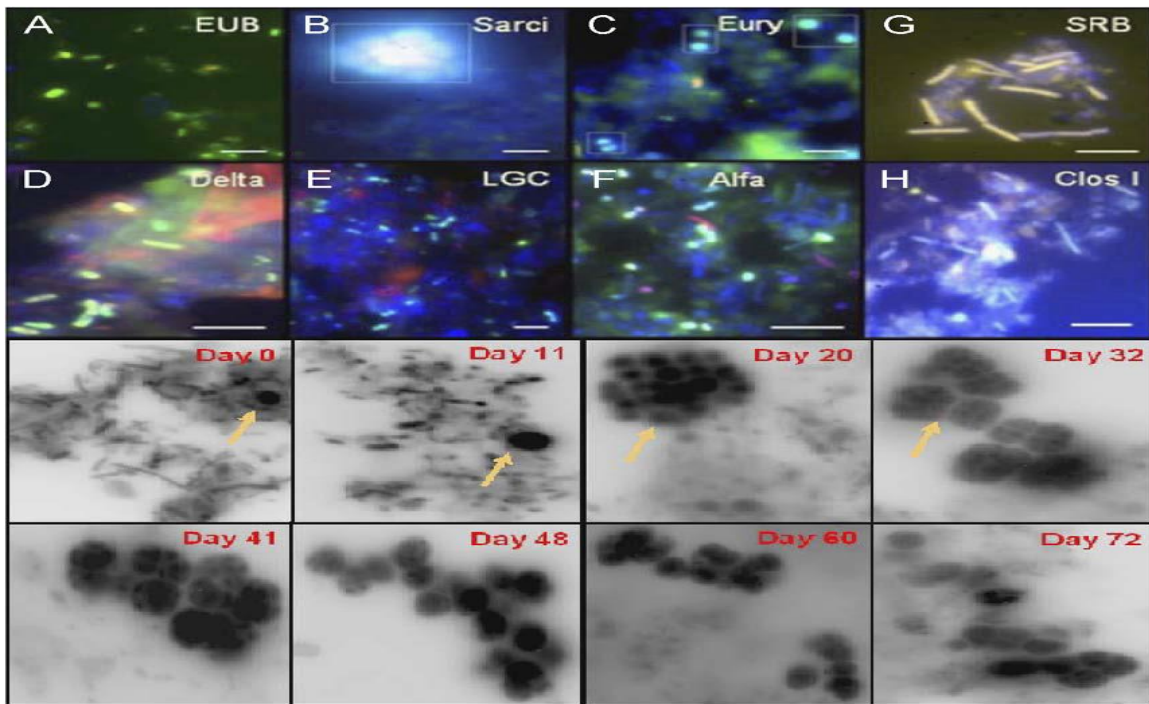
Metan oluşum aşamasında, asit oluşum aşamasında meydana gelen asetik asit, H_2 ve CO_2 ara ürünleri, CH_4 ve CO_2 'e dönüştürülür. Ara ürünleri metana dönüştürme işleminde Methanotrix, Methanosarcina, Methanospirillum, ve Methanosaeta gibi asetoklastik metanojen bakterileri görev almaktadır. Bu metanojen bakterileri tek hücreli ve prokaryotik canlılardır. Metan üretiminin yaklaşık %70'inden sorumludurlar. Hidrojenotropik metanojenler ise H_2 ve CO_2 ara ürünlerinden oluşan CH_4 'ün meydana gelmesinde görev alırlar ve metan üretiminin yaklaşık %30'undan sorumludurlar (Çakmak, 2019).



Şekil 2.3. Biyogazın oluşum aşamaları (Ardıç ve ark, 2005)



Şekil 2.4. Biyogazın oluşum aşamaları (Deviren ve ark, 2017)



Resim 2.5. Metan bakterilerinin ve metan oluşumun mikroskopik görünümü (Yokuş, 2011)

2.5. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Farklı kategorilerde bakteriler anaerobik arıtım sürecinde görev almaktadırlar. Bakterilerin organik atıklardan biyogaz üretmesi için dengeye ulaşmış durumda olan bir ortama ihtiyaçları vardır. Bakterilerin ideal koşullar içerisinde kalması durumunda, kararlı bir sürece ulaşılabilir. Bakteriler için ortam koşullarındaki dalgalanma, mikroorganizma dengesini bozabilir, anaerobik süreci engelleyebilir ya da anaerobik arıtım sürecini durdurabilir. Bu sebeple anaerobik arıtım sürecindeki sıcaklık, pH, işlem görme süresi, organik yükleme oranı, uçucu yağ asitleri, C/N oranı gibi işletme parametreleri, en uygun aralıklar ile sürekli gözlemlenmeli ve devam ettirilmelidir (Pramanik ve ark, 2019).

2.5.1. Sıcaklık

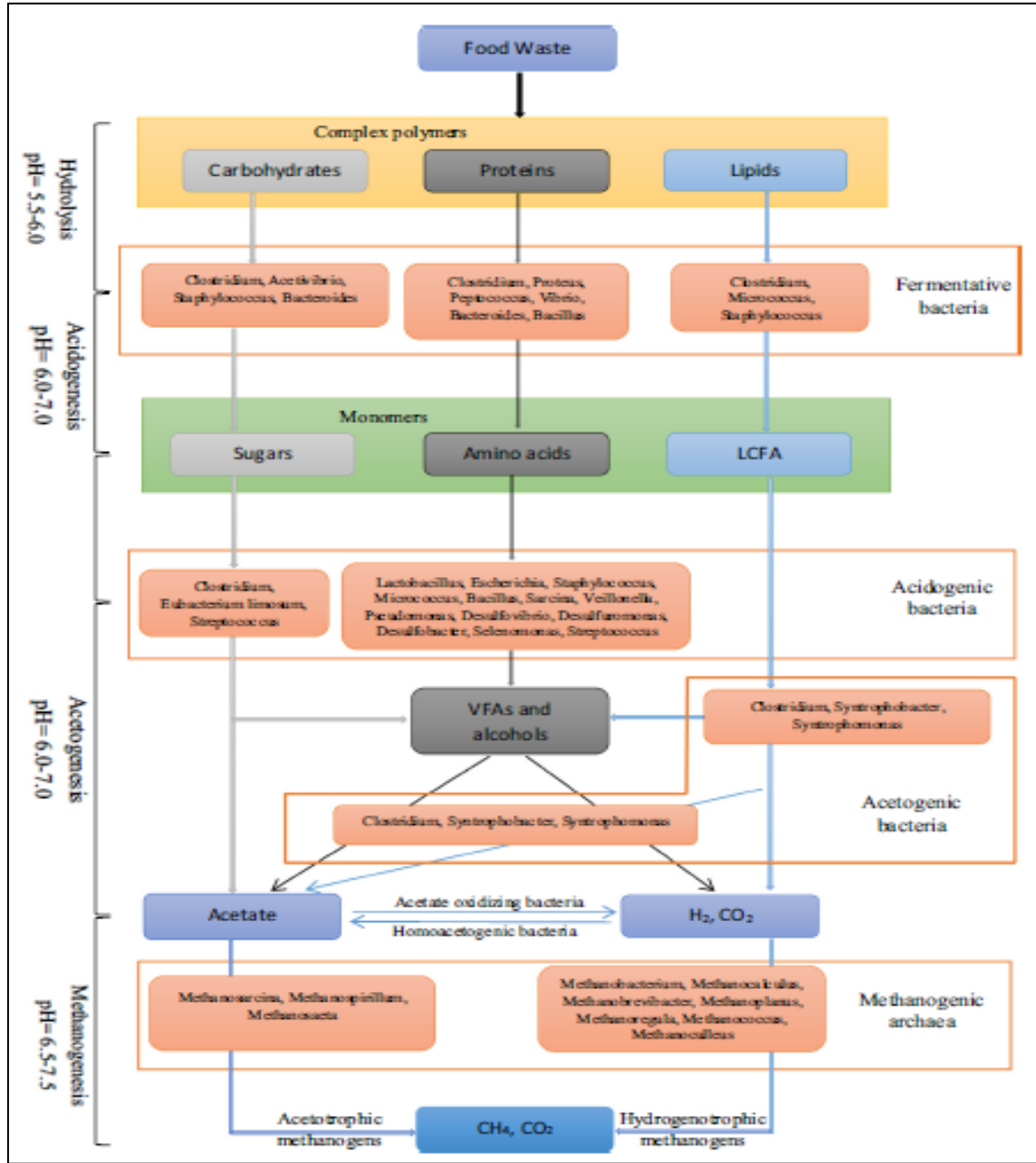
Sıcaklık hem sistem ısı ihtiyacını hem de metan üretimini etkilediğinden anaerobik parçalanma için en önemli işletim parametrelerinden biridir. Metanojenik mikroorganizmalar ve uçucu yağ asidi oluşturan mikroorganizmalar da sıcaklık tarafından etkilenmektedir. Sıcaklıktaki büyük çaplı değişimler, işletme sıcaklığına kıyasla, metanojenik mikroorganizmaların performansında etkili olmaktadır. Anaerobik arıtım süreci, 3 farklı sıcaklık koşullarında meydana gelebilmektedir. Bu 3 farklı sıcaklık koşulları şunlardır:

- Psikrofil Sıcaklık Koşulları
- Mezofilik Sıcaklık Koşulları
- Termofilik Sıcaklık Koşulları

Anaerobik parçalanma süreci psikrofilik (15-25 °C), mezofilik (35-40 °C) ve termofilik (50-60 °C) şartlarda gerçekleştirilebilirse de özellikle hayvansal atıkların hammadde olarak kullanıldığı sistemlerde çalışma sıcaklığı olarak genellikle 35 °C tercih edilir. Düşük bir sıcaklık metan üretimini, yemek atığı kullanım oranını ve bakteri gelişimini azaltmaktadır. Ayrıca düşük sıcaklık, hücrenin enerji tükenmişliğine ve hücrelerarası madde akışının ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Mezofilik sıcaklık koşullarında işletilen anaerobik arıtma süreci, termofilik koşullarda işletilen anaerobik arıtım sürecine nazaran daha yüksek kararlılık ve daha düşük enerji maliyeti sağlamaktadır. Termofilik koşullarda işletilen bir anaerobik arıtım sürecinin birkaç faydası vardır. Bunlar: Daha yüksek sıcaklıkta, metanojenik bakterilerin daha hızlı büyümesi, anaerobik arıtım sürecinin daha kısa sürede meydana gelmesi, patojenlerin yok edilmesi, substratın katı ve sıvı kısımlarını ayırmanın yanı sıra katı substratlar için daha iyi ayrışabilirlik ve sindirilebilirlik sağlaması. Ancak, anaerobik arıtımda termofilik işletme koşullarının dezavantajları da dikkate alınması gerekmektedir. Bu dezavantajlardan bazıları şunlardır: yüksek sıcaklık sebebiyle anaerobik süreç için daha yüksek enerji gereksinimi ve termofilik sıcaklık koşullarındaki büyük orantısızlık (Pramanik ve ark, 2019).

2.5.2. Ph ve uçucu yağ asitleri

pH, bir anaerobik çürütücünün kararlılığını ve performansını etkileyen en önemli parametredir. Mikroorganizmalar pH'a karşı duyarlıdırlar. Çünkü her bir farklı bakteri grubu, kendilerinin büyümesi için farklı aralıklarda pH'a ihtiyaç duyar. İdeal pH aralığı, hidroliz aşaması için 6.0, asit oluşum aşaması için 6.0-7.0'dır. Metan oluşum aşaması için ise ideal pH aralığı 6.5-7.5'tir. Kabul edilebilir bir enzimatik aktivite için, asit oluşturan bakteriler ve metan oluşturan bakteriler belirli pH değerleri üzerinde etkili olmaktadır. Asit oluşturan bakteriler için pH, 5'ten büyük olması gerekirken, metan oluşturan bakteriler için pH'ın 6.2'den büyük olması gerekmektedir. Metanojenik bakteriler, pH 6.8-7.2 aralığında daha iyi performans göstermektedirler. Bikarbonat derişimi (HCO_3), CO_2 üretim miktarı, uçucu asit miktarı ve alkalinite gibi parametreler pH dalgalanmasına neden olmaktadır. Bu parametreler, anaerobik arıtım süresince pH'ın 5 ve üzeri olduğunda, metan üretiminin %75 daha etkili olduğunu göstermiştir. Anaerobik arıtım süresince uçucu yağ asidi ve bikarbonat derişimi kontrol edilmelidir. Çünkü anaerobik arıtım süresince, optimum pH miktarının ayarlanmasına yardımcı olmaktadır. Kararlı ve iyi tamponlanmış bir anaerobik arıtım süreci için HCO_3 /Uçucu Yağ Asidi oranı, en az 1,4/1 molar oranında devam ettirilmelidir ya da 70 meq CaCO_3 /L tamponlama kapasitesi sürdürülmelidir. Uçucu yağ asitleri, organik atıkların anaerobik fermentasyonu sonucu oluşan kısa zincirli yağ asitleri olan (asetik asit, propiyonik asit, bütirik asit, valerik asit), birincil ara ürünlerdir. Uçucu yağ asit derişimi 5800-6900 mg/L aralığına düştüğünde, metan üretimi tamamen durmaktadır (Pramanik ve ark, 2019).



Şekil 2.5. Biyogaz oluşum aşamalarının her evresi ve her bir evrede rol oynayan bakteriler ile birlikte gösterimi (Pramanik ve ark, 2019)

2.5.3. Karbon azot oranı (c/n oranı)

C/N oranı, yemek atığındaki mevcut azot ve karbon miktarları arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Etkili bir anaerobik arıtım süreci için ideal C/N oranı gereklidir. Çünkü C/N oranı, anaerobik arıtım sürecinin kararlılığını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple C/N oranı sadece uygun anaerobik ortam koşullarının sürdürülmesine katkıda bulunmaz, aynı zamanda mikroorganizmaların gelişmesi aracılığıyla düzenli besin dengesini kontrol

etmeye yardımcı olmaktadır. Yemek atığı içerisinde bulunan azot miktarı düşük ise mikroorganizma popülasyonu artışı yavaş olabilir. Bu yavaş büyüme mevcut yemek atığının ayrışması için daha fazla zaman gerekmesi ve daha az biyogaz üretimi anlamına gelmektedir. Diğer yandan azot derişimi gerekli mikrobiyal derişimden fazla ise, bu durum mikroorganizma büyümesini önleyerek amonyak yavaşlatıcılığını ortaya çıkarabilir (Pramanik ve ark, 2019).

Mikroorganizmalar anaerobik arıtım süresince karbonu, azota kıyasla 25-30, 25-35 ya da 30-35 kat daha hızlı kullanırlar. Bu sebeple substrat içerisindeki ideal C/N oranı yaklaşık 20-30:1, 25-30:1 ya da 30-35:1 olmalıdır. Organik maddelerin sindiriminde C/N oranını artırmak için hayvan gübresi, lignoselülozik biyokütle ve atıksu arıtma çamuru kullanılabilir (Pramanik ve ark, 2019).

2.5.4. İşlem görme (alıkonma) süresi

Alıkonma süresi ya da diğer bir adıyla işlem görme süresi, anaerobik reaktörlerde, sürekli takip edilmesi gereken en önemli parametrelerden birisidir. Alıkonma süresi, organik maddelerin reaktörde tamamen bozunması için gereken süreyi ya da organik maddelerin reaktörde ortalama kalma süresi olarak tanımlanır. Anaerobik arıtım sürecinde 2 çeşit önemli alıkonma süresi vardır. Bunlar: Katı Alıkonma Süresi (Solid Retention Time-SRT) ve Hidrolik Alıkonma Süresi (Hydrolic Retention Time-HRT)'dir. SRT, bakterilerin reaktörde geçirdiği ortalama zamandır. HRT ise sıvı çamurun reaktörde geçirdiği ortalama zamanı ifade eder. İşlem görme zamanı ile ilişkili olan bakteri gelişim oranı sürecin sıcaklığına, substrat bileşimine ve organik yükleme oranına bağlıdır. HRT, ne kadar kısa olursa, organik yükleme oranı değeri o kadar yüksek olmaktadır. Organik atıkların işleme süresi, mezofilik sıcaklık koşullarında 10-40 gün arasında bir zaman dilimini gerektirirken, termofilik sıcaklık koşullarında bu süre, daha az olabilmektedir (Pramanik ve ark, 2019).

Daha uzun süre HRT için, yüksek yatırım maliyeti ve geniş reaktör hacmi başlıca gereksinimlerdir. Daha kısa süre HRT ise substratın ideal koşullarda bozunması için yeterli zamanı karşılamamaktadır. Ayrıca HRT, iklim değişikliğine göre değişmektedir. Örneğin; tropikal ülkelerde ve soğuk iklim koşullarında HRT, sırasıyla 30-50 ve 100 gün aralığında değişiklik göstermektedir. SRT, reaktördeki bakteri popülasyonunu atık dengesi sağlanıncaya kadar devam ettirir. Sistemden her çamur çekildiğinde mikrobiyal topluluğun

bir kısmı sistemden uzaklaştırılmış olur. Böylece kararlı ortam koşulu sağlanarak sistemin hata vermesinin önüne geçilmiş olunur. Uzun süreli SRT, toksik bileşiklere biyolojik uyum sağlamaya yardımcı olur. Bu biyolojik uyum, reaktör hacmi ve katı bakteri derişimi artırılarak elde edilebilir (Pramanik ve ark, 2019).

(Fernández-Rodríguez ve arkadaşlarının 2014) yaptıkları bir çalışmada, 3-4 gün aralığındaki SRT'ye oranla, daha yüksek biyogaz üretimine SRT nin 5-8 gün aralığında ulaşılmıştır. Ayrıca 4 günden daha az SRT süresi, belediye katı atıklarının organik kısmının tek kademeli anaerobik sistemde değerlendirilmesi için uygun bir süre değildir ve sistemde kararsızlığa sebep olur (Pramanik ve ark, 2019).

2.5.5. Organik yükleme oranı (olr)

Organik yükleme oranı, birim zamanda, birim anaerobik reaktör hacmi başına beslenen uçucu katıların miktarını temsil etmektedir. Bu oran aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir (Nsair ve ark, 2020).

$$OLR = \frac{m \times c}{V_R \times 100} \text{ (kg. oDM m}^{-3} \text{ d}^{-1} \text{)} \quad (2.1)$$

Bu denklemde m, birim zaman başına beslenen substrat miktarıdır (kg d⁻¹), c organik kuru maddenin derişimiine karşılık gelmektedir (% Odm), V_R ise reaktör hacmidir (m³) (Nsair ve ark, 2020).

Organik yükleme oranını düşük tutmak, biyogaz üretimi verimliliğinde azalmaya sebep olabilmektedir. Yüksek OLR anaerobik sürecin durmasına sebep olabilmektedir (22). İdeal OLR'nin çok üzerinde bir OLR ile anaerobik reaktöre aşırı besleme yapılırsa inhibisyon etkisi nedeniyle yağ asitleri reaktörde birikir. Biriken yağ asitleri biyogaz üretiminin doğrudan azalmasına neden olabilmektedir (Fernández ve diğerleri, 2014). Mikro bakteriler, anaerobik reaktör içerisindeki inhibisyon etkisine sahip birikmiş yağ asitlerinin bulunduğu ortamda varlıklarını devam ettiremezler. Aşırı beslemeye bağlı olarak, mikro bakterilerin varlığını reaktör içerisinde devam ettirememesi sistemin durma nedenlerindendir (Fernández ve diğerleri, 2014). Bu sebeple reaktör içerisindeki OLR kontrolü önemlidir. Düşük OLR ve daha uzun bir HRT'nin de aşırı organik yüklemeyi tetikleyebileceği belirtilmiştir (Fernández ve diğerleri, 2014). Bu durumun esas sebebi

muhtemelen reaktördeki yetersiz tamponlama kapasitesidir. Daha yüksek OLR, daha kısa süre HRT' ye sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak mikroorganizmaların sistemden sürüklenmesi, daha düşük biyogaz üretimi ile sonuçlanabilmektedir (Fernández ve diğerleri, 2014).

Termofilik sıcaklık koşullarında çalıştırılan anaerobik reaktörler, mezofilik sıcaklık koşullarında çalıştırılan anaerobik reaktörlere göre daha geniş aralıkta OLR' ye uyum sağlamaktadırlar. Mezofilik reaktörler için bu uyum aralığı, yemek atıklarının anaerobik arıtımında $3.0-7.3 \text{ kg-KOI/m}^3 \cdot \text{gün}^{-1}$ 'dür. Termofilik reaktörlerde ise bu aralık $3.0-14.4 \text{ kg-KOI/m}^3 \cdot \text{gün}^{-1}$ 'dür. Yemek atıklarının anaerobik arıtımında ideal OLR sırasıyla, termofilik koşullarda $2.5 \text{ g-VS/ L.gün}^{-1}$, mezofilik koşullarda ise $1.5 \text{ g-VS/ L.gün}^{-1}$ 'dür (Fernández ve diğerleri, 2014).

2.6. Yemek Atıklarının Anaerobik Arıtım Sürecinin Sınıflandırılması

Yemek atıkları değerlendirilirken, kullanılacak anaerobik reaktörlerin sınıflandırılması yemek atığının nem içeriği, besleme türü ve sıcaklığa bağlıdır. Anaerobik arıtım sürecinin çeşitli kategorileri vardır. Bunlar: mezofilik ya da termofilik süreçler, yaş ya da kuru sindirim, kesikli ya da sürekli süreçlerdir (Fernández ve diğerleri, 2014).

Çizelge 2.3. Yemek atıkları için farklı anaerobik arıtım süreçlerinin karşılaştırılması (Pramanik ve ark, 2019)

Proses	Reaktör Hacmi ve Tipi	Aşı	İşletme Koşulları	Metan Üretimi (mL/ g VS)	Uçucu Katı Giderimi (%)
Tek Evreli	2L Yarı-Sürekli CSTR, Mezofilik	Anaerobik Çamur	OLR= 5 g VS/ L.gün, HRT=20 gün, pH= 7.7	494	74.7
Çift Evreli	0.5L ve 2L Yarı-Sürekli CSTR Mezofilik		OLR= 4 g VS/ L.gün, HRT=25 gün, pH= 7.5	511	78.9
Tek Evreli	230L CSTR, Termofilik	Anaerobik Çamur	OLR= 3.5 kg VS/ m ³ .gün, HRT=20 gün,	450	93.6
Çift Evreli	200L ve 760L CSTR, Termofilik	Mezofilik Anaerobik Çamur	HRT= 30 gün, pH= 8.31, TUYA= 0.87 gHAc/L	550 477	96.2 83.77
Tek Evreli	4L Yarı-Sürekli CSTR, Termofilik		HRT= 30 gün, pH= 3.83 ve 8.17, TUYA= 164 gHAc/L ve 1.08 gHAc/L	459	82.02

Çizelge 2.3. (devam) Yemek atıkları için farklı anaerobik arıtım süreçlerinin karşılaştırılması (Pramanik ve ark, 2019)

Proses	Reaktör Hacmi ve Tipi	Aşı	İşletme Koşulları	Metan Üretimi (mL/ g VS)	Uçucu Katı Giderimi (%)
Çift Evreli	2L ve 8L Yarı-Sürekli CSTR, Termofilik				
Tek Evreli	1L ve 20L Yarı-Sürekli, Mezofilik	Anaerobik Ekim Çamuru	OLR=1.6-10 g VS/ L, pH= 5.1-7.8	199 249	30.1 44.2
Çift Evreli	5m ³ reaktör, Mezofilik	Anaerobik Çamur	OLR= 3.79 kg VS/m ³ /gün, pH=7.32. OLR= 0.78 kg VS/m ³ /gün, pH=5.2-8.4	380 446	96 93
Üç Evreli	6L CSTR, Mezofilik	Mezofilik Ekim Çamuru	OLR= 2.4 g VS/L/gün, pH=7.77, HRT=30	440	74.1
Tek Evreli	1.5L Termofilik CSTR, 6L Mezofilik CSTR		OLR= 14.2 ve 2.6 g VS/L/gün, pH=5.36-7.59, HRT= 3 ve 12 gün	440	80.1
Çift Evreli	3L Sürekli CSTR	Anaerobik Ekim Çamuru	OLR= 7.75 g VS/L/gün, pH=7.64, HRT=10. OLR= 2.4 g VS/L/gün, pH=7.77, HRT=30	350 440	
Tek Evreli	500 mL laboratuvar ölçekli – Yarı-Sürekli Şişe	Mezofilik Atıksu Arıtma Çamuru, Termofilik Arıtma Çamuru	OLR= 1.5g VS/L/gün,, HRT=20 OLR= 2.5g VS/L/gün,, HRT=20	371 541	94.7 93
Sıcaklık-Faz 2 Evreli	75L Yukarı Akışlı Anaerobik Reaktör, Mezofilik	Ekim Çamuru	6.1 kg KOİ/m ³ /gün, HRT=30, pH=7.5	766	80.9
Mezofilik	1L Cam Digester, Mezofilik	Anaerobik Aktif Çamur	8 g VS/L, pH=7.5		
Mezofilik	6L Sürekli Reaktör, Mezofilik	Mezofilik Ekim Çamuru	2.35 kg VS/m ³ /gün, SRT=20 gün, pH=7.39	370	80.1
Termofilik					

2.6.1. Kuru ve yaş sindirim

Anaerobik arıtım süreci, yemek atığı içerisinde bulunan katı derişimine bağılı olarak kategorize edilir. Yemek atığı içerisindeki toplam katı derişimi %20 ile %40 arasında bir değere sahip ise, yemek atığının anaerobik arıtımı kuru süreç olarak isimlendirilir. Yemek atığı içerisindeki toplam katı derişimi %15 altında ise, yemek atığının anaerobik arıtımı ıslak ya da yaş süreç olarak isimlendirilir (Fernández ve diğerleri, 2014).

1980’li yıllarda inşa edilen anaerobik arıtım tesislerinin çoğu ıslak sistemli sürece dayanmaktadır. Geçtiğimiz 10 yılda ise inşa edilen anaerobik arıtım tesislerinin çoğu ise, kuru sistemli süreçlerden oluşmuştur (Fernández ve diğerleri, 2014).

Kuru süreçlerde HRT’nin 14-60 gündür. OLR, kuru süreçlerde 12-15 kg VS/m³/gün ve uçucu katı giderim oranı %40-%70 arasındadır. Yaş süreçlerde ise HRT 25-60 gün aralığındadır. Yaş süreçlerin OLR değeri ise 5 kg VS/m³/gün değerinden küçüktür. Ayrıca uçucu katı giderimi %40-%75 aralığındadır. Yaş süreçler, kuru süreçlere kıyasla daha yüksek reaktör hacmi gerektirmektedir. Yaş süreçlerdeki arıtma, susuzlaştırma ve ön arıtım maliyetleri, kuru süreçlere göre daha yüksektir. Kuru süreçlerde biyogaz üretim oranı yaş süreçlere göre daha yüksektir. (Kothari ve ark, 2014).

Yi ve arkadaşları (2014) tarafından yemek atıklarının anaerobik arıtımı süresince yaş ve kuru süreçler incelenmiştir. Yaş süreç %5, kuru süreç ise %20 toplam katı oranına sahiptir. Biyogaz üretimi, kuru süreçte 0.48 L/g VS, uçucu katı giderimi %85.6 bulunmuştur. Yaş süreç için ise bu değerler, kuru süreçten elde edilen değerlerin altında olduğu bulunmuştur. Yemek atığının kuru sürecinde, yaş sürece kıyasla daha yüksek uçucu yağ asidi derişimi ve OLR bulunmuştur. Bu durum, kuru süreçler için yaş sürece göre, anaerobik arıtım sürecinin durma ihtimalinin daha az olması anlamına gelmektedir (Pramanik ve ark, 2019).

2.6.2. Mezofilik ve termofilik sindirim

Anaerobik arıtım süreci farklı sıcaklıklarda meydana gelir ve 2.5.1 alt başlığında belirtildiği gibi psikrofilik, mezofilik ve termofilik sıcaklık koşulları olarak sınıflandırılmıştır (Kothari ve ark, 2014).

Banks ve arkadaşları (2008) tarafından kaynağına göre ayrılmış yemek atıklarının termofilik ve mezofilik koşullarda uçucu katı verimliliği ve biyogaz üretimi incelenmiştir. Termofilik koşullarda uygulanan anaerobik arıtım, uçucu katı verimliliği ve biyogaz verimliliği açısından mezofilik anaerobik arıtım koşullarına göre daha iyi performans göstermiştir. Uçucu yağ asidi derişimi termofilik reaktörde (45,000 mg/L), mezofilik reaktörde bulunan uçucu yağ asidi derişiminden (28,000 mg/L) daha yüksek bulunmuştur.

Li ve arkadaşları (2017) tarafından yemek atığı ve atık aktif çamur karışımının mezofilik ve termofilik koşullarda biyogaz üretimi karşılaştırılmıştır. Termofilik sistemden elde edilen biyogaz üretimi (407 mL/g VS), mezofilik sistemden elde edilen biyogaz miktarından (350 mL/g VS) daha fazla olduğu bulunmuştur. Bunun muhtemel sebebinin, termofilik reaktör içerisindeki proteinlerden amonyuma olan yüksek dönüşüm oranı olduğu belirtilmiştir.

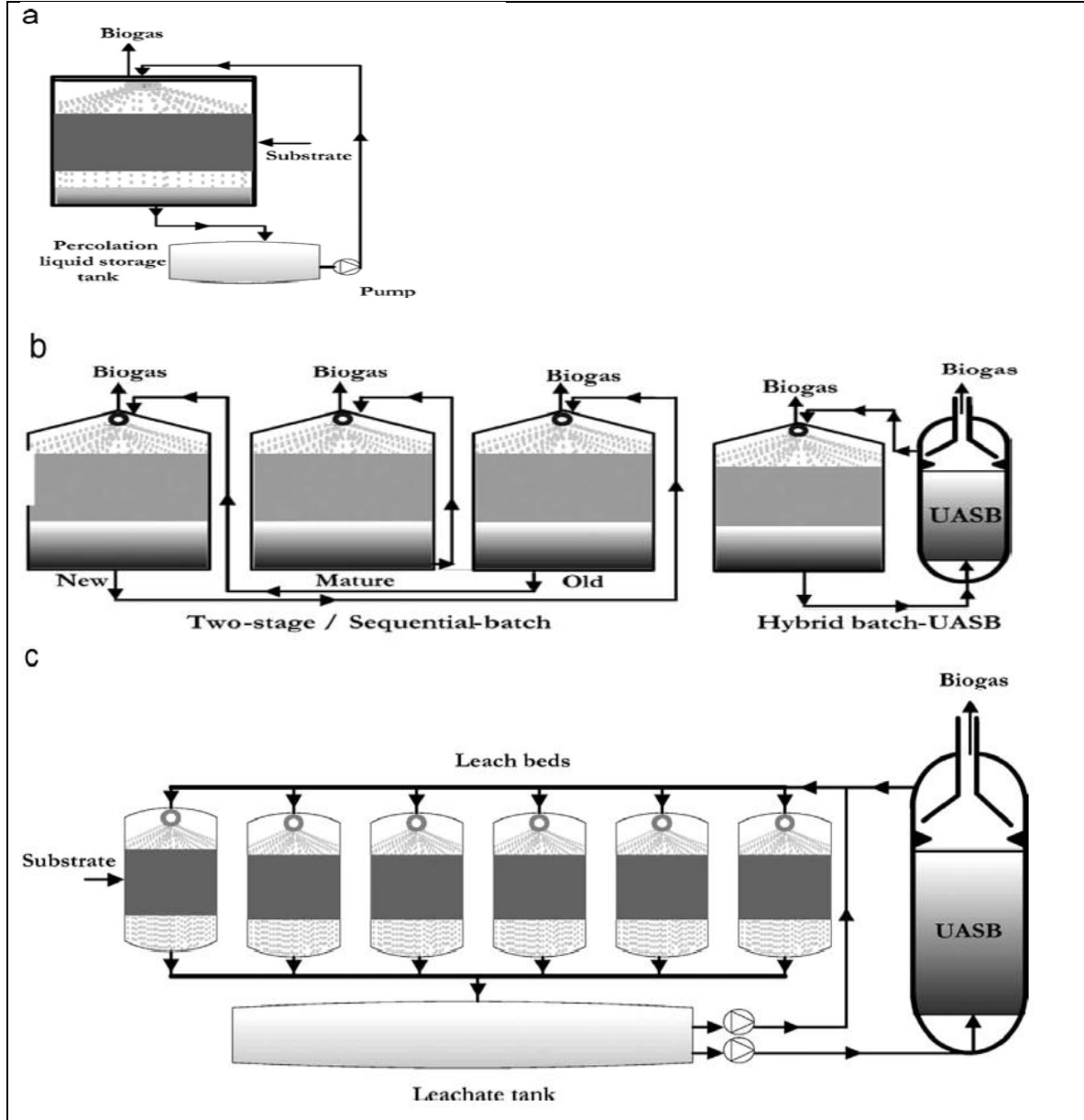
2.6.3. Kesikli sistemler

Taze yemek atığı ve diğer reaktörlerden alınan anaerobik çamur gibi aşılarda birlikte bir seferde beslenen ve substratın anaerobik olarak parçalanması için belirli bir süre kapatılan reaktöre kesikli sistem denir (Pramanik ve ark, 2019).

Kesikli reaktörlerin başlıca avantajları şunlardır: Teknik olarak basit ve dayanıklıdır, az bakım gerektirir, düşük parazitik enerji kaybına sahiptirler, düşük yatırım maliyetine sahiptirler. Avantajları yanı sıra kesikli sistemlerin bazı dezavantajları da vardır. Bunlar: SSHS reaktörleri ile kıyaslandığında kesikli sistemlerin toprak ayak izi gereksinimi daha geniştir. Çünkü kesikli sistemler daha kısa ve daha düşük OLR'ye sahiptir, reaktör dibinde bulunan ve biyogaz verimliliğini azaltan materyallerin parçalanması reaktörü boşaltırken patlama riskini nihai olarak artırır (Kothari ve ark, 2014).

Tipik bir kesikli sistem içerisindeki toplam katı içeriği %30 ile %40 oranları arasında değişiklik göstermektedir. Tepkimeler için kesikli reaktörler taze hammadde ile doldurulurlar. Daha sonra boşaltılırlar ve tekrardan yeni bir hammadde yığını ile tekrardan doldurulurlar (Kothari ve ark, 2014).

Kesikli reaktörler 3 farklı tipte olabilmektedirler. Bunlar: Tek kademeli kesikli sistem, ardışık kesikli sistem ve yukarı akışlı kolon reaktörlerdir (Kothari ve ark, 2014).



Şekil 2.6. (a) Tek kademeli kuru kesikli çürütücü (b) İki kademeli kuru kesikli çürütücüler (c) Yukarı yatay akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör ile bağlı ardışık beslemeli filtre yataklı çürütücüler reaktörlerdir (Kothari ve ark, 2014).

2.6.4. Sürekli sistemler

Sürekli süreçlerde, yemek atığı gibi taze maddeler reaktörlere sürekli olarak yüklenir. Reaktörlere beslenen madde miktarı kadar reaktörlerden, aynı miktarda sindirilmiş madde miktarı boşaltılır (Kothari ve ark, 2014). Sürekli sistemlerde aşı ve yemek atığının sürekli

olarak karıştırılması için, biyogaz devridaimi ya da mekanik karıştırıcılar kullanılabilir (Deepanraj ve ark, 2014). Sürekli reaktörlere tutarlı miktarda besin yani hammadde girdisi sağlanır. Reaktörlerdeki bütün reaksiyonlar sabit oranda gerçekleşir. Buna bağlı olarak yaklaşık sabit bir biyogaz üretimi elde edilir. Sürekli sürecin yapısı, giriş ve çıkış valfleri olan, silindirik bir tank sistemine sahip kesikli bir sürecin yapısı ile aynı olabilir. Çünkü tank içerisinde sürekli bir hareket vardır ve tank içerisindeki materyal karıştırılır. Böylece tank içindeki materyal katman katman olmamaktadır. Bu şekilde en uygun tank hacmi kullanımına olanak sağlanmış olunur (Kothari ve ark, 2014).

Sürekli sürecin dezavantajı, süreçten dışarı alınan çıkış suyunun tam sindirime uğramış materyal ile kısmen sindirilmiş materyalin kombinasyonu olmasıdır. Kısmen sindirilmiş materyalin sistemden çıkarılmasını minimize etmek için bazı tasarımlar, reaktör içerisindeki iç duvarların kullanımı aracılığıyla sindirime uğramış materyalin yolunu belirlemektedir (Kothari ve ark, 2014).

2.6.5. Tek kademeli süreç

Tek kademeli bir sistemde anaerobik arıtımın bütün evreleri sızdırmaz tek bir reaktörde meydana gelir. Tek aşamalı sistem içerisindeki büyük bir problem asit oluşum evresi süresince dir. Asidojenik bakteriler, asidojenik ve metanojenik bakteriyel topluluklarının büyümesindeki farklılık sebebiyle metan oluşumunu etkileyen reaktörün pH seviyesini düşürür (Deepanraj ve ark, 2014).

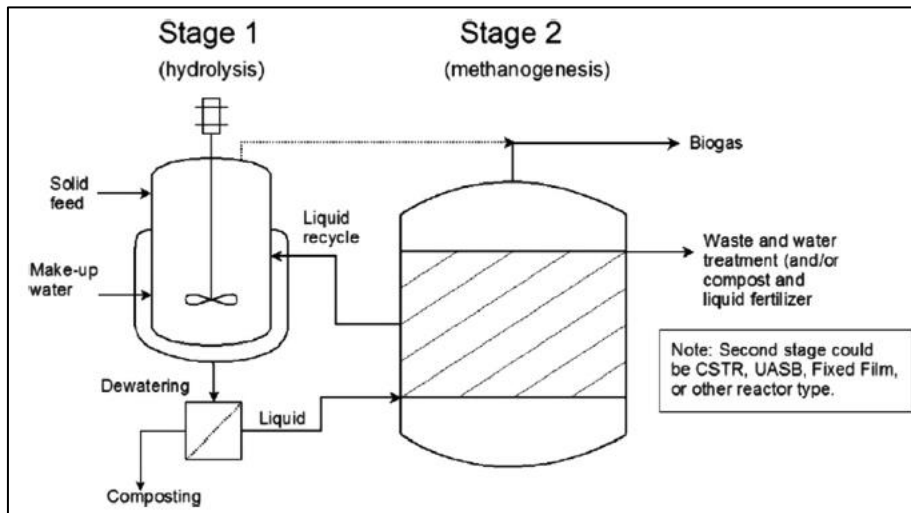
Tek kademeli sürecin başlıca özellikleri şunlardır: OLR düşüktür, işlem görme yani dönüşüm süresi uzundur, pH aralığı 6-7 arasındadır, CH₄ üretimi düşüktür, daha az yatırım ve bakım maliyeti gerektirir. Biyogaz miktarının düşük olmasının sebebi reaktör içerisinde meydana gelen asit oluşum aşamasının hızlı meydana gelmesi ve metanojenik bakteri gruplarının bu durumdan olumsuz yönde etkilenmesidir. Metanojenik bakteri gruplarının bu durumdan olumsuz yönde etkilenmemesi ve varlığını reaktör içerisinde sürdürmesi biyogaz oluşumu için önemlidir. Tek kademeli reaktör içerisine tampon ekleyerek ve karıştırarak, reaktöre yapılan besleme oranını düzenlemenin bu olumsuz durum için çözüm olabileceği belirtilmiştir (Pramanik ve ark, 2019). Tampon olarak NaHCO₃'ün kullanılması reaktör içerisindeki biyoçözünme zamanını ve uçucu katı miktarını azaltarak, kimyasal olmayan diğer tampon kültürlerinin performansı ile kıyaslanmıştır. NaHCO₃'ün

tampon olarak kullanıldığı sistemde biyogaz üretiminin daha yüksek olduğu bulunmuştur (Abdulkarim ve Evuti, 2010).

2.6.6. İki ya da çok kademeli süreçler

İki ya da ikiden çok kademeli süreçler, ayrı anaerobik reaktörlerde meydana gelmektedir. Birinci reaktör, hidroliz oluşumu, asit oluşumu ve asetat oluşumu süreci için kullanılır. İkinci reaktör ise genellikle metan oluşum süreci için çalıştırılır (Pramanik ve ark, 2019).

İki ya da çok kademeli anaerobik süreçlerin tek kademeli süreçlere göre bazı avantajları şunlardır: Daha yüksek biyogaz üretimi, yüksek OLR, daha iyi pH kontrolü ile kararlılığın artması, patojen kontrolü için daha yüksek potansiyele sahip olması, uçucu katı giderim oranının daha etkili ve gelişmiş olmasıdır. İki kademeli süreçler aynı zamanda bazı dezavantajlara da sahiptir. Bunlar: Yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek olması ve sistem bakımının karmaşık olmasıdır (Hagos ve ark, 2017).



Şekil 2.7. İki kademeli anaerobik arıtım sisteminin şematik genel görünümü (Kothari ve ark, 2014).

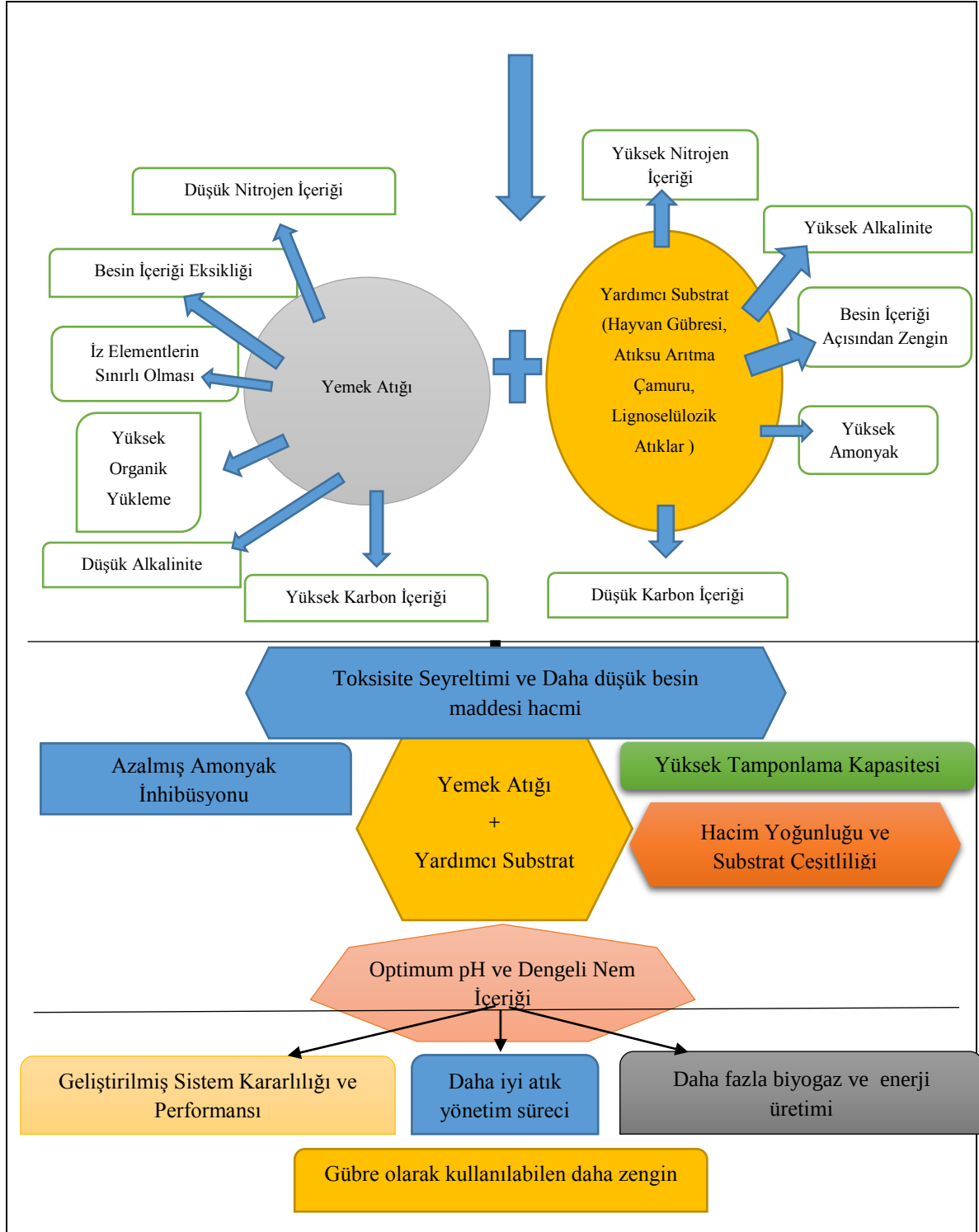
2.7. Anaerobik Arıtım Sürecini Geliştiren Faktörler

2.7.1. Birlikte sindirim (co-digestion)

Co-Digestion yani birlikte sindirim, iki ya da daha fazla organik atık türünün eş zamanlı olarak karıştırılması ve arıtılmasıdır. Sadece yemek atıklarının tek başına arıtımı ile ilgili

problemlerden kaçınmak için son yıllarda oldukça yaygın olarak uygulanmaktadır (Shi ve ark, 2018).

Anaerobik birlikte sindirimin Resim 1.8’de gösterildiği gibi avantajları bulunmaktadır (Pramanik ve ark, 2019). Avantajların yanı sıra birlikte sindirimin birkaç dezavantajı da bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi nakliye yani ulaşım giderleridir (Mata-Alvarez ve ark, 2000). Yemek atıkları ve farklı substratların co-digestion yani birlikte sindiriminin işletme şartları, metan üretim miktarları Çizelge 2.3.’ te özetlenmiştir. Yemek atıklarının tek başına sindirimi, daha yüksek C/N oranı ve daha düşük tamponlama kapasitesine sebep olmaktadır (Leung ve Wang, 2016). Bu sebeple hayvan gübresi yemek atıkları için uygun bir yardımcı substrat olarak düşünülebilir. Çünkü hayvan gübresi envaiçeşit nütrient içermektedir. Ayrıca hayvan gübresi, OLR miktarını maksimum 10 kg VS/m³/gün’e kadar destekleyebilen yüksek tamponlama kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte hayvan gübresi anaerobik bakteriler için daha kararlı ortam koşulları sunmaktadır (Xu ve ark, 2018). Atıksu arıtma çamuru da mükemmel bir yardımcı substrat olarak düşünülmektedir. Çünkü arıtma çamuru yüksek iz element içeriğine ve düşük organik yükleme oranına sahiptir (Mehariya ve ark, 2018). Arıtma çamurları, anaerobik arıtım sürecine katılan farklı türde mikropların büyümesi için faydalı olan aktif bakterileri yüksek miktarda içermektedir. Yemek atığının içerisine yardımcı substrat olarak eklenen arıtma çamuru biyogaz üretimini 1.4 kata kadar artırmıştır (Xu ve ark, 2018).



Şekil 2.8. Yemek atıklarının yardımcı substrat ile birlikte sindirimi ve başlıca yararları (Pramanik ve ark, 2019).

Çizelge 2.4. Yemek atıklarının diğer substratlarla birlikte sindirimi, işletme parametreleri ve metan üretimlerinin karşılaştırılması (Pramanik ve ark, 2019).

Ham madde + Yardımcı Besin Maddesi	Karıştırma Oranı	Reaktör Tipi	Aşısı	İşletme Koşulları	Metan Üretimi (mL/g UKM)
Salatalık atıkları+Domuz gübresi+Mısır atıkları	3:5:2 (Yaş Süreci)	1L kesikli cam reaktör	Anaerobik Çamur	35°C, C/N:14,5, UYA/Alkalinite Oranı : 0.76 g/L	305.4
Yemek Atığı+Domuz Gübresi	50:50 (Uçucu Katı Temelli)	1L kesikli cam reaktör	Katı Sindirim Ürünü	37°C, pH:7.6-8.7	252
Belediye gıda atığı + süt ineği gübresi (bulamaç)	67.8 :32.2 (yaş ağırlık)	Sürekli akışlı karıştırmalı reaktör	Anaerobik sindirim ürünü	OLR=5.04 g VS/L, HRT= 17.5 gün, 37±2 °C, pH= 7.64	444,7
Yemek atığı + Çamur	1:3	Cam Şişe (Kesikli)	N/A	37±2 °C, pH= 5.8-7.5, C/N : 6.29	435.5
Patates Atıkları + Lahana Atıkları	1:1	5 L Yarı sürekli karıştırmalı tank reaktör	Tanecikli anaerobik çamur	OLR= 3 kg VS/(m ³ gün), 37±1 °C, C/N: 20,1	360
Mutfak atıkları + Sığır Gübresi	1:1	1L laboratuvar ölçekli kesikli anaerobik çürütücü	Anaerobik Çamur	HRT=45 gün, 35 °C, pH=7.5	179,8
Yemek Atıkları + Bahçe Atıkları + Karışık Çamur	67.5 : 22.5 : 10 (VS esas)	Yarı Sürekli akışlı karıştırmalı reaktör	Anaerobik Çamur	OLR=2,55-7,79 g VS/L, HRT=30-10 gün, 55 °C, pH=7,84-7,79	424-356
Yemek Atığı + Saman	5:1	1L Kesikli şişe reaktör	Anaerobik tanecikli çamur	OLR=5g VS/L, HRT=8 gün, 35 °C, C/N: 30.9	392
Yemek Atığı + Çim vb. yeşil atıklar	40:60 (VS esas)	500 mL kesikli sistemli şişe reaktör	Anaerobik Çamur	OLR=5g VS/L, HRT=24.5 gün, 37±1 °C, C/N :15,8	388
Belediye Katı Atıklarının Organik Kısmı + Meyve ve Sebze Atıkları	1: 3	2L Kesikli cam reaktör	Anaerobik Çamur	35 °C, pH= 7.4-8.2, C/N: 34.7,	396.6
Yemek Atıkları + Mezbaa atıkları ve gübresi	11:8:7 (% yaş ağırlık)	2L Paslanmaz çelik çürütücü (yarı-sürekli)	Anaerobik sulu çamur	OLR= 1.3 kg VS/(m ³ gün), HRT=30 gün, 35±1 °C, pH= 7.4	320
Yemek Atığı + Buğday Samanı	5:5	6L Sürekli akışlı karıştırmalı reaktör	Termofilik Anaerobik Çamur	OLR= 3 kg VS/ (m ³ gün), 55±1 °C, pH= 7.1-7.5	370

2.7.2. Ön arıtım

Ön arıtım metodu yardımıyla anaerobik arıtım performansı artırılabilir. Biyolojik evreler arasında hidroliz aşaması, yemek atıklarının anaerobik sindiriminde hız sınırlayıcı aşamadır (Pramanik ve ark, 2019). Ayrıca yemek atıklarının anaerobik parçalanması, yemek atıklarının mevcudiyetinin yanı sıra, her biyolojik evrede kütle transferi tarafından büyük ölçüde etkilenmektedir. Hidroliz hızı, yüksek moleküllü bileşikler ve tanecikli substratların biyolojik parçalanmaları süresince partikül boyutu, substratların içeriği ve kompozisyonu tarafından etkilenir (Zhang ve ark, 2014).

Yemek atıkları, anaerobik arıtım süreci öncesi pastörize ve sterilize edilmelidir. Ön arıtma, sterilizasyon ve pastörizasyon içi fazla maliyet sorununu ortadan kaldırması yanı sıra daha fazla enerji kazanımı için iyi bir seçenektir (Ariunbaatar ve ark, 2014). Ön arıtım süreci, anaerobik arıtım sürecini sekteye uğratabilen zararlı bileşenlerin etkilerini azaltabilmektedir (Pramanik ve ark, 2019).

Termal, kimyasal, ultrasonik, mekanik ve biyolojik ön arıtım yöntemleri başta olmak üzere birçok sayıda ön arıtım yöntemleri bulunmaktadır (Pramanik ve ark, 2019). Çizelge 2.4.'te yemek atıklarının anaerobik arıtımını kolaylaştırmak ve biyogaz üretimini artırmak amacıyla uygulanan ön arıtım uygulamalarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 2.5. Yemek atıklarının anaerobik sindirimini geliştirmek için kullanılan ön arıtım yöntemlerinin karşılaştırılması (Pramanik ve ark, 2019).

Ön Arıtım Koşulları	Aşı	Reaktör Tipi ve İşletme Koşulları	Metan / Biyogaz Üretimi	Ön Arıtım Etkileri	Referans
Asetik Asit (0.2M), 62,5 °C, 30 dakika	Anaerobik Çamur	250mL Serum Şişe (Kesikli) pH:7±0.2, 37 °C, 86 gün	53,58 ml CH ₄ /kg VS	Seyreltik asetik asit ön arıtım uygulaması, ön işleme tabi tutulmuş yemek atığının yüz geçirgenlik ve pürüzlülüğünü iyileştirmiştir. Bakterilerin substrat ile olan etkileşimini artırmıştır. Metan üretimi %10'a kadar artırılmıştır.	(Saha ve ark, 2018)
Termal Koşullar: 70 dakika 55-90 °Cde, 50 dakika 120-160°Cde.,	Anaerobik ekim çamuru	250mL Cam Şişeler, 35 °C, 21 gün	Toplam biyogaz üretimi doğrusal bir şekilde artmıştır.	Termal Ön Arıtma proteinlerin nihai içeriğinde önemli bir etki göstermemiştir. Uçucu katıların, yağ ve gresin ve ham proteinlerin giderim verimini artırmıştır.	(Pramanik ve ark, 2019)
Ultrason: Sonikasyon için uygulanan spesifik enerji 1040 kJ/ kg TS	-	18,75 L Endüklelenmiş Yatak Reaktör (Süreklî), 55±1 °C, 40 gün	520 L CH ₄ / kg VS	Ultrason Ön Arıtımı biyoçözünürlüğü artırmıştır. Metan üretimini %70'e kadar artırmıştır. KOİ giderimini artırmıştır.	(Ormaechea ve ark, 2017)
Enzim koşulları: Lipaz-I, Lipaz-II ve Lipaz-III 0-36 saat koşullarında hidrolize edildi, 50–2000 µL ve 30–50 °C.	Anaerobik Tohum Çamuru	Serum Şişe (Kesikli), 35±1°C, 60 gün	En yüksek biyometan üretimi 189 ml (Haybansal Yağ + Lipaz- II)	Optimum hidroliz oranı Lipaz-I ve Lipaz-II de 24 saat, 1000–1500 µL ve 40–50 °C koşullarındadır.	(Meng ve ark, 2017)
Alkali derişimi = 40-190 meq/ L, Zaman : 1-6 saat	Arıtma Çamuru	2L Cam Anaerobik Çürütüvü Kap (Kesikli), Mezofilik Sıcaklık Koşulları pH:7, 35 gün	864,2 ml CH ₄ / g VS (giderilen)	Alkali ön arıtım metan üretimini %20'ye kadar artırmıştır.	(Junoh ve ark, 2016)

2.8. Gıda Atıklarının Küresel Boyutu

Yeryüzünde yaklaşık 2 milyar insan beslenme eksikliği çekmektedir. Yaklaşık 815 milyon insan kronik olarak kötü ve yetersiz beslenmektedir (Swinburn ve ark, 2019). Küresel gıda israfının azaltılmasının mümkün olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca hem çevresel sürdürülebilirlik hem de beslenme güvenliği açısından çift taraflı kazanç getireceği de yazılı olarak belgelenmiştir (Chen ve ark, 2020). 2030 yılına kadar kişi başına düşen gıda israfını yarı yarıya azaltmak, Birleşmiş Milletler tarafından sürdürülebilir gelişim hedeflerinden birisi olarak beyan edilmiştir (Birleşmiş Milletler, 2015). Dünya çapında yıllık olarak yaklaşık 1,3 milyar ton gıda israf edilmektedir. Bu rakam insan gıdalarının yaklaşık %33'üne denk gelmektedir. Batı Asya, Orta Asya ve Kuzey Afrika'da kişi başına düşen gıda kaybı yıllık olarak 6-11 kg arasındadır. Oysa bu rakam Kuzey Amerika ve Avrupa'da yıllık 95-115 kg aralığındadır. Yiyecek atıklarının yıllık olarak ekonomik boyutunun yaklaşık 750 milyar Amerikan Dolar'ına tekabül ettiği tahmin edilmektedir (Mirmohamadsadeghi ve ark, 2019). Gelişmiş ülkelerde yiyecek atıklarının %40'ından fazlası parakende satış ve tüketici evrelerinde oluşmaktadır. %40'ın üzerinde olan gıda atıkları oranı, Sahraaltı Afrika'daki üretilen gıda üretimine eşittir (Maroušek ve ark, 2020). 2025 yılında Asya'da gıda atıklarının miktarının yıllık 416 milyon tonu bulacağı beklenmektedir (Dahiya ve ark, 2018). Çoğunlukla işlenmiş gıdaların atıkları olmak üzere Çin, yıllık olarak 90 milyon tonun üzerinde gıda atığı meydana getirmektedir (Maroušek ve ark, 2020). 1 kişinin oluşturduğu gıda atığı miktarı birçok faktöre göre değişiklik göstermektedir. Bunlardan bazıları şunlardır: kişinin içinde bulunduğu hayat standartları, bağlı olduğu alışkanlıklar, gelenek ve görenekler, içinde bulunulan toplumun eğitim seviyesi, kentleşme ve mevsimler. Kişilerin ve toplumun tüketim alışkanlıklarına göre gıda atık miktarları her geçen gün artış göstermektedir. Gıda atıklarının ekonomik boyutuna bakıldığında ülkelere göre farklılık göstermektedir. Birleşik Krallık'ta bulunan bir evin yıllık ortalama gıda atığından meydana gelen mali boyut 480 İngiliz Sterlini'dir, Amerika'da 590 Amerikan dolarıdır, Avustralya'da ise 616 Avustralya Dolarıdır (Kılınç ve Bekar, 2018).

Ülkeler bazında gıda israfına farklı bir boyuttan bakıldığında Çin, meydana getirdiği gıda atıklarını su ürünleri yetiştiriciliğinde alternatif protein kaynağı olarak kullanmaktadır (Mo ve ark, 2018). Artan gıda israfını önleme ile mücadelede ise Çin, 4.sırada yer almaktadır. ABD'de yaşayan insanlar, temin ettikleri gıdaların ¼'lük kısmını çöpe atmaktadırlar. ABD

halkının yaptığı bu gıda israfı, içme suyunun ¼'ünden fazlasına ve 300 milyon varil petrol kaybına karşılık gelmektedir (Tekiner ve ark, 2021). Finlandiya'da her yıl 130 milyon kg evsel kaynaklı gıda atığı meydana gelmektedir ve kişi başına oluşan yıllık gıda atığı miktarı 23 kg'dır. Bu durum yıllık olarak Finlandiya'da kişi başına yaklaşık 70 Euro mali kayba karşılık gelmektedir. Finlandiya'da evlerden kaynaklanan yıllık gıda ya da yemek atığının sera gazı karşılığı yaklaşık olarak, 100,000 arabanın yıllık olarak oluşturduğu CO₂ miktarına eşdeğerdir. Evsel kaynaklı gıda atıklarının yıllık ekonomik karşılığı 400-550 milyon Euro'dur. Farklı restoran tipleri de dikkate alındığında Finlandiya'da totalde yıllık olarak 335-460 kg gıda israf edilmektedir (Katajajuuri ve ark, 2014). Gıda israfının ekonomik boyutu Güney Afrika Cumhuriyeti'nde yaklaşık 7.7 milyar dolardır (Tekiner ve ark, 2021). (Liu vd., 2016). Japonya'nın gıda israfı ve kaybı eğilimini belirlemek için "kalori/protein tedarik ve alımı arasındaki farklılıkları belirleme" yaklaşımını kullanmıştır. Bu kapsamda, 1960 ve 2012 yılları arasını üç döneme ayırmıştır ve Japonya'nın gıda tedarik zincirinde tüm kritik kontrol noktalarını değerlendirmiştir. Çalışma sonucu, 1960-1975 yılları arası gıda israfı düşük seviyelerdedir. 1975-2000 yılları arasında artışa geçmiştir. 2001 yılından itibaren tekrar düşme eğilimi göstermiştir. Japonya, 2011 yılında gıda atıklarının %43 oranında dönüştürmeyi başarmıştır. Yeni Zelanda, Kanada ve İngiltere'nin gıda israfından kaynaklanan tahmini ekonomik karşılığı sırasıyla 872 milyon dolar, 26,6 milyar dolar ve 15 milyar İngiliz Sterlinidir (Tekiner ve ark, 2021).

Kontrolsüz olarak atılmış gıda atıkları tüm dünyada ciddi çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Gıda atıklarının hayvan yemi olarak kullanılması, gelişmiş ülkelerin büyük çoğunluğu tarafından yasaklanmıştır. Çünkü besin zincirinin kısaltılmasının hastalıkların yayılmasına sebep olabileceği büyük ölçüde kabul edilmektedir (Maroušek ve ark, 2020).

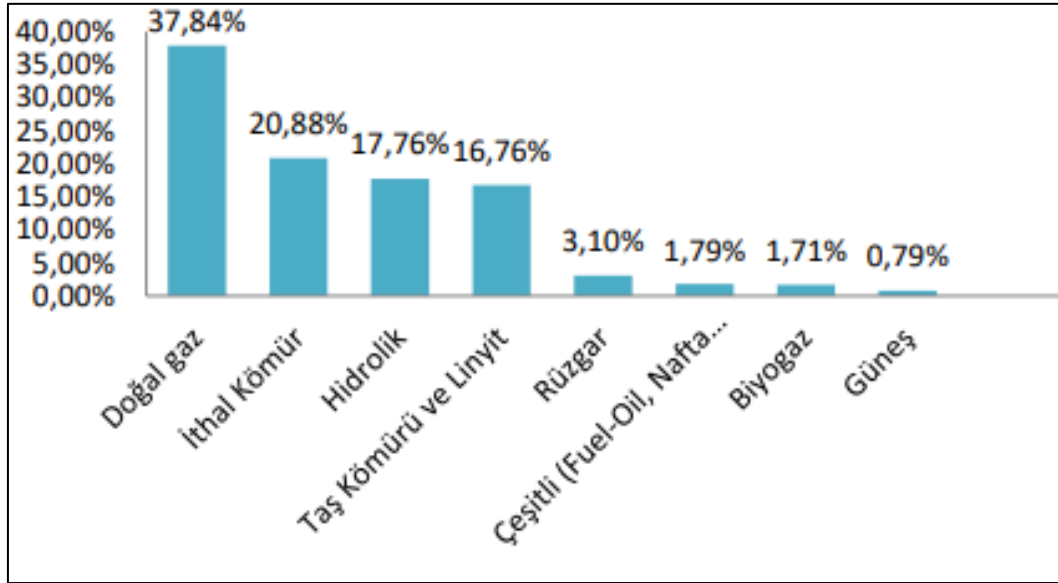
2.9. Gıda Atıklarının Türkiye'deki Durumu

Ülkemizde, gıda israfının boyutu 26 milyon tona ulaşmıştır. En yüksek israf oranı, %25-40 aralığı ile sebze meyvededir. Katı atık miktarının yıllar geçtikçe artmasında ekmek de önemli bir pay sahibidir. Ülkemizde 1 günde israf edilen ekmek sayısı 4.9 milyon ve 1 yılda israf edilen ekmek sayısı ise 1.7 milyardır. İsraf edilen ekmeklerin birincil kaynağı 3 milyon adet ve %62 oran ile fırınlardır. 1.4 milyon adet ve %28 oranı ile israfın bir diğer kaynağı evlerdir. 0.5 milyon ve %10 oranında ise israfın kaynağı oteller, restoranlar, personel ve öğrenci yemekhaneleridir. Türkiye'de gıda israfı ve kaybının çoğu, erken

Üretim sonrası aşama ile orta seviyelere kadar olan bütün aşamalarda gerçekleşmektedir (Tekiner ve ark, 2021). Gıdalar, en yüksek %5 oranında tüketim ve hane halkı aşamasında israf edilmektedir (Demirbaş, 2018). (Kılınç ve Bekar, 2018). Yaptıkları bir çalışmada İstanbul, Ankara, İzmir, Antalya, Muğla, Denizli ve Gaziantep illerinde bulunan 5 yıldıızlı otellerin gıda israf miktarlarını incelemiştir. 1 günde oluşan toplam gıda israfının yaklaşık 6 ton olduğu belirtilmiştir. Diğer atık türleri de dikkate alındığında bu rakam tüm atıkların yaklaşık olarak %70'ine karşılık gelmektedir.

2.10. Türkiye'de Biyogaz

Ülkemizde pirolitik yağ enerji santrali, biyogaz, biyokütle ve atık ısı santrali olmak üzere 73 adet santral mevcuttur ve toplam yaklaşık olarak 395.0 MW güce sahiptir. Ülkemizde, biyogazın günlük elektrik üretimindeki payı %1,71'dir. şekil 2.9'da ülkemizde günlük elektrik üretiminde etkisi olan enerji kaynaklarının yüzde dağılımı verilmiştir. Çizelge 2.6'da ülkemizde yıllık elde edilen elektrik enerji miktarları ve enerji kaynaklarının oransal paylar verilmiştir. Çizelge 2.6'da ise, ülkemizde bulunan biyogaz ve biyokütle tesisleri bilgileri verilmiştir. Ülkemizdeki en büyük biyogaz tesisi İstanbul ili Eyüp ilçesinde bulunan Odayeri p Gazı Santralidir. Bu büyük tesis ortalama 214.446.854 KW elektrik üretimi yaparak 1 günde yaklaşık 65 000 kişinin elektrik ihtiyaını karşılayabilmektedir. Sadece hanelerin elektrik tüketimi temel alındığında ise bu büyük tesis, 68.078 hanenin elektrik ihtiyaını karşılayabilecek kapasiteye sahiptir. Ülkemizin en büyük ikinci en büyük biyogaz tesisi ise Ankara'da bulunan Mamak plğ Biyogaz Tesisidir. İkinci en büyük biyogaz tesisi olan bu tesis, ortalama 150.857860 KW elektrik enerjisi ile 45.576 kişinin günlük elektrik enerjisini karşılamaktadır. Hane bazında ele alındığında ise yaklaşık 48.000 hanenin enerji ihtiyaını karşılamaktadır (Yılmaz ve ark, 2017).



Şekil 2.9. Ülkemizde 1 günde üretilen elektrikte etkisi olan çeşitli enerji kaynaklarının yüzde oranları (Yılmaz ve ark, 2017)

Çizelge 2.6. Ülkemizin yıllık elektrik enerji miktarları ve enerji kaynaklarının oransal payları (Yılmaz ve Ark, 2017)

Enerji Kaynakları	% Oran	Miktar
Doğalgaz	33,57%	91449924
İthal Kömür	16,72%	45535097
Hidrolik	24,22%	65966478
Taş Kömürü ve Linyit	15,13%	41225087
Rüzgâr	5,29%	14400168
Diğer Termik	1,07%	2918301
Biyogaz	0,69%	1890802
Jeotermal	1,50%	4081862
İthalat	1,82%	4948040

Çizelge 2.7. Türkiye’de bulunan biyogaz ve biyokütle tesisleri bilgileri (Yılmaz ve Ark, 2017)

Tesis Adı	İl	Firma Adı	Kurulu Güç
1. Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	34MW
2. Mamak Çöplüğü Biyogaz Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	25MW
3. Çadırtepe Biyokütle Santrali Ankara ITC Katı Atık Enerji 23MW	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	23MW
4. Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	ITC Katı Atık Enerji	16MW
5. Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ortadoğu Enerji	14MW
6. ITC-KA Sincan Biyokütle Gazlaştırma Tesisi	Ankara	ITC Katı Atık Enerji	11 MW
7. Bağfaş Gübre Fabrikası Biyogaz Tesisi	Balıkesir	Bağfaş Gübre Fabrikası	9,92 MW
8. Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	ITC Katı Atık Enerji	9.80MW
9. Aksaray OSB Gübre Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	Sütaş Süt Enfaş Enerji	6.40MW
10. Şanlıurfa Biyokütle Enerji Santrali	Şanlıurfa	Full Force Enerji	6.24MW
11. Eman Enerji Mersin Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	6.02MW
12. Avdan Biyogaz Tesisi	Samsun	Avdan Enerji	6.00MW
13. Modern Biyokütle Enerji Santrali	Tekirdağ	Eren Enerji	6.00MW
14. Kayseri Çöplüğü Biyogaz Elektrik Santrali	Kayseri	Her Enerji	5.78MW
15. Konya Aslım Çöplüğü Elektrik Üretim Santrali	Konya	ITC Katı Atık Enerji	5.66MW
16. Gaziantep Çöp Gazı	Gaziantep	CEV Enerji	5.66MW
17. Kocaeli Çöplüğü Biyogaz Santrali	Kocaeli	Ortadoğu Enerji	5.09MW
18. Ovacık Biyogaz Enerji Santrali	Kırklareli	Işit Biyokütle	4.80MW
19. Afyon Biyogaz Enerji Santrali	Afyonkarahisar	Afyon Enerji	4.02MW
20. Gönen Biyogaz Tesisi	Balıkesir	Gönen Yenilenebilir Enerji	3.62MW
21. Belka Çöp Gazı Biyogaz	Ankara	Ankara Büyükşehir Belediyesi	3.20MW
22. ITC-KA Elâzığ Çöp Gazı Santrali	Elâzığ	ITC-KA Enerji	2.83MW
23. İskenderun Çöp Gazı Elektrik Üretim Tesisi	Hatay	Novtek Enerji	2.83MW

Çizelge 2.7. (devam) Türkiye’de bulunan biyogaz ve biyokütle tesisleri bilgileri

Tesis Adı	İl	Firma Adı	Kurulu Güç
24. Trabzon Rize Çöp Gazı Santrali	Trabzon	Mustafa Modoğlu Holding	2.83MW
25. Sivas Biyokütle Elektrik Üretim Tesis	Sivas	Novtek Enerji	2.82MW
26. Konya Atıksu Biyogaz Santrali	Konya	Konya Büyükşehir Belediyesi	2.44MW
27. Malatya BŞB Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Malatya	Malatya Büyükşehir Belediyesi	2.40MW
28. Arel Enerji Biyokütle Tesis	Afyonkarahisar	Arel Enerji	2.40MW
29. Manavgat Çöp Gazı Santrali	Antalya	Arel Enerji	2.40MW
30. Senkron Efeler Biyogaz Santrali	Aydın	Senkron Grup	2.40MW
31. Mauri Maya Bandırma Biyogaz Santrali	Balıkesir	Mauri Maya	2.33MW
32. Tokat Çöpgazı Elektrik Üretim Santrali	Tokat	Tokat Belediyesi	230MW
33. Karacabey Biyogaz Tesis	Bursa	Sütaş Süt Enfaş Enerji	2.13MW
34. Bandırma Edincik Biyogaz Santrali	Balıkesir	Telko Enerji	2.13MW
35. Eses Enerji Biyogaz Santrali	Eskişehir	Eskişehir Büyükşehir Belediyesi	2.04MW
36. Karaduvar Atıksu Arıtma Tesis Biyogaz Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	1.90MW
37. Albe Biyogaz Santrali	Ankara	Era Grup	1.81MW
38. GASKİ Atıksu Biyogaz Elektrik Santrali	Gaziantep	Gaziantep Büyükşehir Belediyesi	1.66MW
39. Karma Gıda Biyogaz Santrali	Sakarya	Karma Gıda	1.49MW
40. Polatlı Biyogaz Tesis	Ankara	Polres Elektrik Üretim	1.47MW
41. Aksaray Çöp Gazı Elektrik Santrali	Aksaray	ITC Katı Atık Enerji	1.42MW
42. Karaman Biyogaz Tesis	Karaman	Karaman Yenilenebilir Enerji	1.41MW
43. Pamukova Katı Atık Biyogaz Santrali	Sakarya	Biosun Pamukova	1.40MW
44. Eman Enerji Silifke Biyokütle Enerji Santrali	Mersin	Mersin Büyükşehir Belediyesi	1.20MW
45. Uşak Çöpgazı enerji Santrali	Uşak	Uşak Belediyesi	1.20MW
46. Amasya Çöp Gazı Elektrik Üretim Santrali	Amasya	Boğazköy Enerji Elektrik Üretim	1.20MW

Çizelge 2.7. (devam) Türkiye’de bulunan biyogaz ve biyokütle tesisleri bilgileri

Tesis Adı	İl	Firma Adı	Kurulu Güç
47. Ekim Grup Gübre Gazı	Konya	Ekim Grup Elektrik	1.20MW
48. Bolu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bolu	CEV Enerji	1.13MW
49. Kırıkkale Çöp Gazı Enerji Santrali	Kırıkkale	Mustafa Modoğlu Holding	1.00MW
50. Sigma Suluova Biyogaz Tesisi	Amasya	Sigma Elektrik Üretim	1.00MW
51. Kemerburgaz Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	Ekolojik Enerji	0.98MW
52. Hayat Biyokütle Elektrik Üretim Santrali	Kocaeli	Hayat Enerji	0.96MW
53. Eman Enerji Karaman Biyokütle Enerji Santrali	Kahramanmaraş	Eman Enerji	0.95MW
54. Adana Batı Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0.80MW
55. Adana Doğu Atıksu Biyogaz Santrali	Adana	Adana Büyükşehir Belediyesi	0.80MW
56. Beypazarı Biyogaz Tesisi	Ankara	Derin Enerji Üretim	0.79MW
57. Frito Lay Gıda Biyogaz Santrali	Kocaeli	Frito Lay Gıda	0.70MW
58. Kumkısıık Çöplüğü Biyogaz Santrali	Denizli	Bereket Enerji	0.64MW
59. Sezer Bio Enerji	Antalya	Kalemirler Enerji	0.50MW
60. Denizli Atıksu Arıtma Tesisi Biyogaz Elektrik Üretim Santrali	Denizli	Denizli Büyükşehir Belediyesi	0.48MW
61. Solaklar İzaydaş Çöp Gazı	Kocaeli	Kocaeli Büyükşehir Belediyesi	0.33MW
62. Cargill Tarım Bursa Bioenerji Santrali	Bursa	Cargill Tarım	0.12MW

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Tavuk gübresi ve iki farklı organik içeriğe sahip büyükbaş hayvan gübresinden elde edilen biyogazın, modellenmesi yapılmıştır. Çalışmada, arıtma tesisleri modellenmesinde de kullanılan hata payı az olduğu belirtilen Anaerobik Arıtma Modeli No.1 (ADM1) kullanılmıştır. Modelleme koşulları tavuk gübresini içeren atık için; 35 °C ve 1 kg.UKM/m³.g organik yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Yüksek organik içeriğe sahip büyükbaş hayvan gübresi için ise modelleme koşulları 30 °C ve 25 °C sıcaklık koşullarında, 1.5 ve 2 kg.UKM/m³.g organik yükleme hızlarındadır. Düşük organik içeriğe sahip büyükbaş hayvan gübresini içeren atık için, modelleme koşulları ise 35°C sıcaklık ve 2 kg.UKM/m³.g 'dir. Modelleme çalışması sonucunda işletilen reaktörün sıcaklığı arttıkça, biyogaz üretiminin ve 1 gram uçucu katı maddeden elde edilen biyogaz ve metan üretiminde artış olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca pH değeri yükseldikçe biyometan veriminin önemli ölçüde değişmediği belirtilmiştir. Organik yükleme hızının artırılmasıyla biyogaz, biyometan miktarı ve pH seviyesinin düştüğü belirtilmiştir. Tavuk gübresini içeren atığın diğer farklı organik içerikteki sığır gübrelerine göre daha yüksek biyogaz, biyometan ve pH seviyesi sonucu verdiği rapor edilmiştir (Tunçel, 2017).

Bir biyogaz reaktöründen elde edilen biyogazın yanma karakteristikleri ile ilgili sayısal çalışmalar yapılmıştır. Reaktörden elde edilen biyogazın yakılarak, yakma işlemi sonucu elde edilen emisyon değerleri ve sıcaklık dağılımları sayısal olarak araştırılmıştır. Araştırmaların deneysel sonuçları, sayısal sonuçlarla mukayese edilmiştir ve sıcaklık dağılımı bakımından önemli derecede uyum gözlemlendiği belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan modellemeler şu şekildedir: k-ε standard türbülans modeli, P-1 radyasyon modeli ve PDF/Mixture Fraction yanma modeli. Modellenen biyogaz karışımlarının hacimce metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) oranları ise şu şekilde belirtilmiştir: (% 55 CH₄ - % 45 CO₂ ve % 45 CH₄ - % 55 CO₂. Sıcaklık ve emisyon dağılımları tahmin edilirken Ansys Fluent ticari kodu kullanılmıştır. Elde edilen tahmin sonuçlarının, % 45 CH₄- % 55 CO₂ karışimli biyogazın sıcaklık seviyelerinin yanma odasının giriş bölgelerinde daha düşük, yanma odası çıkışına doğru daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. CO₂ ve H₂O tahminleri için ise, içeriğinde daha fazla CO₂ bulunan biyogazın CO₂ düzeyleri ve H₂O düzeyleri daha yüksek bulunmuştur (Şahin,2019).

6 adet biyogaz tesisinin, veri zarflama analiz metodu ile tesis girdilerinin ne ölçüde etkin kullanıldığı ve verimliliği araştırılmıştır. İki adet tesis girdisi ve bir adet çıktıyı baz alan verileri çözmede Charnes, Cooper ve Rhodes ve Banker Charnes ve Cooper modelleri kullanılmıştır. Araştırılan 6 adet tesisten sadece 2 tanesinin etkin olduğu, 4 tanesinin ise etkin olmadığı rapor edilmiştir. Etkin olmayan tesislerin etkin olması için girdi miktarlarının azaltılması gerektiği vurgulanmıştır. Tesislerin artan, azalan ve sabit getiride olma durumları, Banker Charnes ve Cooper ve Veri Zarflama Analizi modelleri ile araştırılmıştır ve bütün tesisler için sabit getiri durumunda olduğu bulunmuştur. Buna göre girdilerde yapılacak değişikliklerin çıktılarda aynı oranda etkili olacağı belirtilmiştir. Genel olarak incelenen tesislerin, girdilerini etkin biçimde kullanmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Baştan Töke, 2020).

Kayseri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi' nin çürütücü ünitesinden elde edilen biyogaz miktarının, gelecekteki biyogaz üretimini tahmin etmek için MATLAB yazılım programı ile NARNET modelini kullanmıştır. Model yardımıyla yapay sinir ağları meydana getirilmiştir. Modelde, tesisin 1 Nisana 2017 ile 11 Nisan 2019 tarihleri arasında üretilen biyogaz miktarları, model verileri olarak kullanılmıştır. Nöron aralığı diğer çalışmalara kıyasla daha geniş aralıkta olduğu, nöron sayısı ve gecikme sayısının da fazla olduğu belirtilmiştir. Modelde eğitilen ağların bazılarında %90 ve üzeri, bazılarında ise %85 oranında isabetli tahmin sonucu elde edildiği rapor edilmiştir (Özince, 2019).

Tokat Erbaa Katı Atık Düzenli Depolama ve Bertaraf Tesisi'nden elde edilebilecek çöp gazı potansiyeli LandGEM-EPA matematiksel modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Tesisin üretim miktarlarının belirli olduğu yıllar ile modelleme verileri kıyaslanarak saptama miktarları hesaplanmıştır ve %59,2 olarak rapor edilmiştir. Bu oranın, tesis verilerinin LandGEM-EPA matematiksel modeline uygunluk oranı olarak algılanması gerektiği belirtilmiştir (Torun ve Kurt, 2020).

Dallı darıdan üretililebilecek metan miktarının artırılması için ön arıtım ve tavuk gübresi ile dallı darının birlikte anaerobik sindirimini incelemiştir. Bu amaçla termo-kimyasal ön arıtım Kalsiyum-Hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)(kireç) kullanılmıştır. Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) kullanılarak termo-kimyasal ön arıtım Kalsiyum-Hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)(kireç) için en ideal koşullar belirlenmiştir. Ön arıtım sonrası yapılan en yüksek biyokimyasal metan potansiyelinin (BMP) (231,41 mL CH_4 /gUKM), şu koşullarda sağlandığı rapor edilmiştir:

100 °C tepkime sıcaklığı, 16 saat tepkime süresi, %0 (Ca(OH)_2) derişimi, %3 katı madde oranı. Ön arıtım uygulanmamış BMP değeri ise 217,1 mLCH₄/gUKM olarak hesaplanmıştır. Ön arıtımın artıştaki oranı %6,2 olduğu belirtilmiştir. BMP için, Design Expert programı kullanılarak modelleme yapılmıştır ve R² değeri yaklaşık 0,86 bulunmuştur. Dallı darı ve tavuk gübresinin birlikte anaerobik sindiriminden oluşabilecek teorik metan miktarı için ise Buswell Eşitliği kullanılmıştır. Dallı darı ve tavuk gübresi birlikte anaerobik sindirimi için 7 farklı karışım oranı kullanılmıştır. Elementel analiz sonuçları ve karışım oranları da dikkate alınarak en yüksek teorik BMP değeri 437 mLCH₄/gUKM olarak, tavuk gübresinin bulunmadığı karışımdan elde edilmiştir (Akman, 2019).

Optimum organik yükleme oranı ve atık karışım oranlarını belirlemek amacıyla kök, gövde, yaprak ve meyve içeren domates ve biber hasat atıklarını büyükbaş hayvan gübresi ile birlikte anaerobik sindirime tabi tutmuştur. Yürütülen çalışmada %5 ve %10 oranında 2 adet organik yükleme oranı kullanılmıştır. Bu 3 çeşit organik atık, farklı oranlarda karıştırılmıştır. En yüksek biyogaz verimi, %5 organik yükleme miktarı, %40 sığır gübresi ve %60 domates hasat atıkları karışımından elde edilmiştir. Elde edilen optimum sonuçlar, Gompertz, Cone, ve Birinci derece model kullanılarak modellenmiştir. Kullanılan modellerin deneysel verileri ne oranda temsil ettiği ve model parametreleri hesaplanmıştır ($R^2 \geq 0,99$) (Yılmaz ve ark, 2018).

Yemekhane atıklarının güncel durumunun belirlenmesi ve faydalı bir şekilde değerlendirilmesi için bilişim teknolojilerinden yararlanarak bir model oluşturmuştur. 200 adet işletme ve bu işletmelerin yemek atıkları üzerine bir anket çalışması ve bu yemek atıklarının karakterinin belirlenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Oluşturulan model farklı görev kullanıcılarına (tedarikçi, faydalanıcı, yönetici) olarak tanıyan panelleri içermektedir. İşletmelerde çöpe giden yemek atığı %62 olarak belirtilmiştir. Yemek atıklarının, model sayesinde, uygun bir şekilde toplanması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır (Değirmenci, 2019).

Farklı yenilenebilir enerji türleri ve desteklenmesi üzerine bir matematiksel model önerisi oluşturulmuştur. Çalışmada regresyon analizi SPSS programı kullanılmıştır. Araştırma sonucunda; biyokütle, hidrolik, rüzgar enerjisi lisanslı ve güneş enerjisi lisanssız elektrik üretimi miktarları ile yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM)

destek miktarları arasında linner bir korelasyon olduğu belirtilmiştir. YEKDEM ile sağlanan desteklerin aylık olarak tahmini modelinde en büyük etkiyi lisanslı biyokütle kaynağından üretilen enerjiden oluştuğu bulunmuştur. Biyokütle kaynağını ise sırasıyla, lisanslı hidroelektrik ve rüzgâr enerjisi izlemiştir. Modelin oluşturulmasında lisanssız güneş enerjisi üretiminin de etki ettiği rapor edilmiştir (Yalçiner ve Özcan, 2021).

Ekonomik kalkınma ve iş birliği örgütüne (OECD) bağlı ülkeler ve Türkiye'deki biyokütle kaynaklarını sınıflandırmak ve karşılaştırmak için matematiksel modellemeler kullanmıştır. Çalışmada regresyon analizi, korelasyon analizi ve karar ağacı analizi yapılmıştır. Ekonomik kalkınma ve iş birliği örgütüne (OECD) bağlı ülkelerdeki biyokütle, atık üretimi ile enerji kullanımı, karbondioksit salınımları ve birincil enerji tüketimi aralarındaki ilişkiyi ortaya koymak için sınıflandırıcı modeller kullanılmıştır. Biyokütle ve atıktan enerji üretiminde en etkili değişkenin karbondioksit salınımı olduğu belirtilmiştir (Elitaş ve Ersöz, 2021).

Yemek atıklarının, mezofilik ve termofilik sıcaklık koşullarında biyogaz üretimini araştırmıştır. Aynı karakteristiğe sahip 2 yemek atığı numunesi termofilik ve mezofilik sıcaklık koşullarında, 60 gün anaerobik arıtıma tabi tutulmuştur. Mezofilik ve termofilik sıcaklık koşullarında, belirlenen reaksiyon hız sabitleri sırasıyla 0,05 1/gün ve 0,11 1/gün'dür. Anaerobik arıtım sonucu mezofilik sıcaklık koşullarında 314 L/kg UKM (Uçucu Katı Madde) metan miktarı elde edilmiştir. Termofilik sıcaklık koşullarında ise bu değer 317 L/kg UKM olarak bulunmuştur. Mezofilik sıcaklık koşulları ve termofilik sıcaklık koşullarında, yemek atığından metan üretiminin neredeyse aynı olduğu fakat üretimin termofilik sıcaklık koşullarında daha hızlı gerçekleştiği belirtilmiştir (Garan ve Çelik, 2018).

Yemek atıkları ve inek gübresinin ko-fermantasyonundan elde edilebilecek hidrojen ve metan potansiyelini, iki kademeli anaerobik bir sistemde incelemiştir. Sistemde yarı kesikli, birbirine seri bağlı 2 reaktörden oluşturulmuştur ve farklı katı derişimlerinde (%2,3, %3,3, %6,5) işletilmiştir. Hidrojen reaktörü olarak isimlendirilen birinci reaktör 70 °C'de, metan reaktörü olarak isimlendirilen ikinci reaktör ise 35 °C sıcaklıkta işletilmiştir. Maksimum hidrojen miktarına %6,5 katı derişiminde, 1 kg toplam uçucu katı maddede 56,5 litre olarak ulaşılırken, maksimum metan miktarına %3,3 katı derişiminde, 1 kg toplam uçucu katı maddede 233,7 litre olarak ulaşılmıştır. Yemek atıklarının, inek gübresi

ile birlikte ko-fermantasyonu, sistemde yağ asitlerinin birikmesini önleyerek, sistemi, yemek atıklarının tek başına anaerobik arıtımına göre daha dengeli tuttuğu sonucuna varılmıştır (Altınbaş ve Kasarcı, 2018).

Ankara ilinin organik atıklarından elde edilebilecek teorik biyogaz potansiyelleri araştırılmıştır. Çalışmanın bir kısmını mutfak atıkları ve mutfak atıklarının organik kısmı oluşturmaktadır. Mutfak atıklarının %60 oranında organik atıklardan meydana geldiği belirtilmiştir. 2017 Ankara nüfusu verileri dikkate alınarak, mutfak atıklarının potansiyeli yaklaşık 5,35 megaton olarak belirtilirken, mutfak atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyeli $160.380 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak rapor edilmiştir (Şenol ve ark, 2017).

Karadeniz Bölgesi'nde bulunan illerin evsel organik atıklarından elde edilebilecek teorik biyogaz miktarını araştırmıştır. Karadeniz Bölgesi'nin coğrafi konumunun, bölgedeki illerin evsel organik atıklarını depolama açısından güçlük çıkarması, çalışmanın önemini artırdığı belirtilmiştir. Çalışma sonucu Karadeniz Bölgesi'nde evsel organik atıklardan elde edilebilecek en yüksek biyogaz potansiyelinin, $51\ 163.20 \text{ m}^3/\text{gün}$ ile Samsun iline ait olduğu bulunmuştur. Toplamda ise bölgenin evsel organik atıklarından elde edilebilecek biyogaz potansiyeli $296\ 015.18 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak rapor edilmiştir (Şenol, 2019).

Evsel organik atıklar ve büyükbaş hayvan atığının birlikte anaerobik sindiriminden biyogaz verimini incelemiştir. Evsel organik katı atıkların karakterizasyon analizi yapıldıktan sonra, kütlece farklı büyükbaş hayvan atıkları ile karıştırılmıştır. Reaksiyon 40°C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. En yüksek biyogaz verimi, evsel organik atıklar ile büyükbaş hayvan atığının 2:1 kütlece karışımını içeren reaktörden elde edilmiştir. Elde edilen miktar 280 ml/g Toplam Katı Madde olarak rapor edilmiştir. En yüksek Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) giderimi aynı reaktörden elde edilmiştir ve oranı %48,9 olarak belirtilmiştir. Evsel organik katı atıkların, büyükbaş hayvan atıkları ile birlikte anaerobik sindiriminin biyogaz verimi açısından yararlı olacağı sonucuna varılmıştır (Şenol ve Açık, 2018).

Farklı ön işleme tabii tutulmuş muz atıklarından elde edilebilecek biyokimyasal metan potansiyeli (BMP) üzerine bir araştırma yapmıştır. Muzun ön işlem deney tasarımları için Design Expert programından faydalanılmıştır. Ön işlem deneyleri %3 katı madde derişiminde gerçekleştirilmiştir. Programda tepkime sıcaklığı, ön işlemde kullanılan Ca(OH)_2 derişimi ve tepkime süresi bağımsız değişkenler olarak seçilmiştir. 32 gün

sonunda ön işleme tabii tutulamamış muzun BMP değeri 214,60 ml CH₄/g UKM (Uçucu Katı Madde) bulunmuştur. Maksimum metan üretimi, %2 Ca (OH)₂ derişimde, tepkime sıcaklığının 50 °C olduğu ve ön işlem süresinin 60 dakika sürdüğü koşullarda elde edilmiştir ve değeri 264,62 ml CH₄/g UKM (Uçucu Katı Madde) olduğu rapor edilmiştir. Ön işleme tabii tutulmuş muz kabuğunun metan miktarı, ön işleme tabii tutulamamış muz kabuğundan elde edilen metan miktarından yaklaşık %24 fazla olduğu belirtilmiştir. Sıcaklık değerinin 100 °C ve yüksek Ca (OH)₂ derişimlerinde uygulanan ön işlemlerin sistem için durdurucu etki gösterdiği belirtilmiştir (Martin, 2017).

Yiyecek atıkları ve atıksu arıtma çamurunun anaerobik birlikte sindiriminden biyogaz üretiminin modellenmesi ve kinetik değerlendirilmesi yapılmıştır. 12 kg biyokütle atığa sahip, yatay bir reaktör, 1:1 oranında yemek atığı ve evsel atıksu arıtma çamuru karışımı ile yarı kesikli düzende çalıştırılmıştır. %88 en yüksek metan derişimine sahip 218 NL üretilmiştir. Farklı kinetik ve modeller çalışmada kullanılmıştır. Elde edilen biyogaz üretimi potansiyeli 18.16 Nm³/ton olarak elde edilmiştir. Spesifik olarak ise biyogaz ve metan üretimi 0,24 ve 0,21 Nm³/kg VS'dir. Çalışmada anaerobik sindirimin kinetiklerini en iyi şekilde tanımlamada, ölçülen biyogaz verimi için en uygun model R²= 0,99 değeri ve metan verimi için R²= 0,98 değeri ile geliştirilmiş Gompertz Modeli olduğu belirtilmiştir (de Oliveira ve ark, 2021).

Anaerobik sindirim ile uçucu yağ asitleri (UYA) üretimine, farklı evsel yiyecek atık fraksiyonlarının etkisini incelemiştir. Protein ve nişasta açısından zengin yiyecek atığına ait fraksiyonların, nötr pH seviyesinde en yüksek uçucu yağ asidi derişimlerini (12-15 g/L) verdiği rapor edilmiştir. Bütrik, izo-valerik ve propiyonik asitlerin yiyecek atığından bolca bulunduğu belirtilmiştir. Evsel yiyecek atıklarının kimyasal yapısının, UYA üretimine katılan ana bakteri sınıflarının çeşitlenmesi ve göreceli bolluğuna da etkisinin gözlemlendiği belirtilmiştir. Comamonadaceae (lipidler ve selüloz bakımından zengin fraksiyonlar) gibi bakteri filumları, UYA üretimi ile olumsuz bir ilişkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak, Lactobacillaceae familyasının UYA üretiminde rol alan, UYA üretimi ile arasında olumlu bir ilişki bulunan ve en bol olan familyalardan birisi olduğu da belirtilmiştir (Strazzera ve ark, 2021).

Yiyecek, meyve ve sebze atıklarından, yapay sinir ağlarını kullanarak biyogaz üretiminin modellenmesi üzerine çalışmıştır. Deneysel çalışma kesikli bir reaktörde, 3 farklı şekilde

uygulanmıştır. Reaktör için işletme koşulları şu şekilde belirtilmiştir: 37 °C sıcaklık, 21 gün reaktörü işletme süresi, 5,10 ve 20 VS/l x gün. Nümerik bir model geliştirmek için, biyogazı etkileyen parametreler ve reaktörün işletme koşullarındaki rakamlar modelin girdi değişkenleri olarak, toplam biyogaz üretimi ise çıktı değişkeni olarak kullanılmıştır. Model sonucu olarak R^2 değerleri, 3 farklı organik yükleme oranları için sırasıyla 0.9929, 0.8486 ve 0.6167 değerlerini vermiştir. Ayrıca en yüksek biyogaz miktarlarının termofilik sıcaklık koşullarında elde edilmiştir (Neto ve ark, 2021).

Umman'daki bir sanayi bölgesinin atık su arıtma tesisinde üretilen çamurun anaerobik sindirimi yoluyla enerjiye dönüştürülmesinin teknik, çevresel ve ekonomik fizibilitesini değerlendirilmiştir. Bu çalışmada üç farklı senaryo analiz edilmiştir. Bu senaryolar şu şekildedir: Üretilen çamurun toplam miktarının tek başına (240 m³/gün) sindirilmesi (senaryo 1) ve bunun 2 ton/gün oranında ıslak tarımsal gıda atıklarıyla (TGA) birlikte sindirilmesiyle (senaryo 2) ve 10 ton/gün oranında birlikte sindirimi ile (senaryo 3). Atıksu arıtma tesisinde üretilen çamurun anaerobik sindiriminden (20 yıllık bir süre için) 43.9 GWh elektrik üretildiği, 37.000 ton CO₂ değerinde emisyon azaltımının sağlandığı ve bunun ekonomik değerinin 393483 Amerikan Doları'na karşılık geldiği rapor edilmiştir. Anaerobik çamurun, TGA ile birlikte sindiriminde ise sonuçların elektrik üretimi, emisyon azaltımı ve ekonomik eşdeğeri açısından daha efektif ve iyileştirici olduğu belirtilmiştir. Böylece, çamurun enerji geri kazanımı amacıyla tarımsal gıda atıklarıyla birlikte sindirilmesi, Umman sanayi bölgelerinde umut verici, çevre dostu ve ekonomik olarak uygulanabilir bir yaklaşım olarak kabul edilebileceği sonucuna varılmıştır (Jellali ve ark, 2021).

Ultrason ve mikrodalga ile ısıtma ön işlemleri ile yağ ve gıda atıklarının anaerobik sindirimi süresince, metan üretim potansiyeli ve enerjiye dönüşümünü incelemişlerdir. Ultrason ön işlemine tabi tutulmuş yağ atıklarının metan üretimi, %43,3'e kadar artış göstermiştir ve ultrason ön işlemi mikrodalga ile ısıtma ön işlemine göre daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Ultrason ile metan ürününe ön işleme tabi tutulan yağ atığının enerji dönüşüm verimlilik oranı (%69.89), mikrodalga ısıtma ile ön işleme tabi tutulan yağ atığının enerji dönüşüm verimlilik oranından (%58.98), daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Ultrason ile ön işlemin, yağ atığının verimli bir şekilde sindirilmesine olanak tanıdığı ve metana dönüştürülmek üzere daha fazla enerji açığa çıkardığı belirtilmiştir (Yue ve ark, 2021).

Tavuk gübresi ve yiyecek atıklarının birlikte beraber anaerobik sindiriminden elde edilecek biyogaz miktarını, 2 aşamalı, laboratuvar ölçekli bir reaktörde incelemişlerdir. Tavuk gübresi ve yiyecek atıklarının karışım oranı 1:4 olarak ayarlanmıştır. Reaktör yaklaşık 55 gün çalıştırılmıştır. İlk aşama 55 °C sıcaklıkta (maddelerin hidrolizi), İkinci aşama (metan üretimi) ise 37 °C sıcaklık ve HRT değerinin 14 gün olduğu rapor edilmiştir. 14 günde elde edilen toplam metan verimi 10950.73 ml olarak belirtilmiştir. Organik karışımın 1 gramından elde edilen hidrojen miktarı 80,42 ml, metan miktarı ise 181,03 ml olarak bulunmuştur (Slobodkina ve ark, 2021).

Yiyecek atıklarını hidrojen ve metana dönüştürmek için yenilikçi üç aşamalı biyoprosesin geliştirilmesi ve optimizasyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu bağlamda, gıda atıklarının değerlendirilmesi için üç aşamalı bir süreç olarak sıralı koyu fermentasyon, mikrobiyal elektroliz hücresi ve biyometanasyon uygulanmıştır. Hidrojen (H_2) ve metan (CH_4) üretimi, uygulanan gerilim, elektrot aralıkları ve katı madde-aşı oranından (K/A) etkilenmiştir. 0,5 Volt, 1,5 K/A oranında ve 3,5 cm elektrot aralığında, 85,13 ml H_2 /g UKM (Uçucu Katı Madde) ve 364,9 ml CH_4 /g UKM elde edilmiştir. Hidrojen ve metanın birlikte üretimi, toplam enerji verimini 13.91 kJ/g UKM'ye yükseltmiştir (Yahya ve ark, 2021).

Geri yayımlı yapay sinir ağı ile sürekli karıştırılan bir mikrobiyal elektroliz hücresinde (SKMEH) gıda atıklarından biyogaz üretiminin tahmini üzerine çalışılmıştır. Üç katmanlı bir geri yayılım sinir ağı (BPNN) modeli, sürekli karıştırılan bir mikrobiyal elektroliz hücresinden (CSMEC) ve yiyecek atıklarını iyileştiren, sürekli karıştırılan bir tank reaktöründen (CSTR), biyogaz üretiminin tahmin modeli olarak kullanılmıştır. Çalışma, biyogaz üretimi üzerine, kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) giderilmesi, oksidasyonun azaltılması potansiyeli (ORP), uçucu yağ asitleri (UYA'lar), organik yükleme hızı (OLR), giriş suyu pH'ı, çıkış suyu pH'ı ve giriş suyu üzerindeki amonyum gibi çeşitli faktörlerin etkilerine odaklanmıştır. Model için biyogaz geri kazanım hedefi %75-85 olarak belirlenmiştir. Yedi-benchmark karşılaştırmasından model için algoritma olarak Levenberg Marquardt geri yayılım algoritması seçilmiştir. SKMEH için determinasyon katsayısı değeri $R^2=0,8902$, kısmi varyans değeri 0,0715 ve anlaşma endeksi değeri 0,925 olarak bulunmuştur. CSTR için ise bu değerler sırasıyla 0,9414, 0,0484 ve 0,966'dır. Modelleme sonuçları dikkate alınarak modelin yüksek kesinlik gösterdiği belirtilmiştir (Quashie ve ark, 2021).

Farklı karışım oranlarında evsel atıksu çamuru ile yiyecek atıklarının, biyogaz üretimi için birlikte sindirimini, mezofilik sıcaklık koşullarında araştırmışlardır. Ayrıca çalışmada Geliştirilmiş Gompertz Modeli kullanılmıştır. Evsel atıksu çamuru (EAÇ) ve yiyecek atıklarının (YA) 80:20 oranındaki karışımından daha yüksek biyogaz ve metan verimi elde edilmiştir. Evsel kaynaklı atıksu çamurunun tek başına anaerobik sindiriminden 299 ml/g TUKM (Toplam Uçucu Katı Madde) metan elde edilirken, yiyecek atığı ile birlikte anaerobik sindiriminden 458 ml/g TUKM metan verimi elde edilmiştir. Deneysel verilerin parametreler olarak kullanıldığı Geliştirilmiş Gompertz Modeli, evsel atıksu çamuru ve yiyecek atıklarının birlikte anaerobik sindiriminin verimli olduğunu gösterdiği belirtilmiştir.

(Lahbab ve ark, 2021) biyogaz üretimi için, dışarıdan aşı desteği olmadan inek gübresi ile sebze kabuğunun anaerobik koşullarda birlikte sindirilmesini, kesikli bir düzen ile deney ve yeni bir modelleme testi uygulayarak araştırmışlardır. Sebze kabukları ana substrat olarak, inek gübresi ise yardımcı substrat olarak kullanılmıştır. Uygulanan modelleme testinde uçucu katı miktarı ve birlikte sindirim oranları dikkate alınmıştır. En ideal kümülatif metan üretimi 2000 ml'lik, 3:1 sebze kabuğu ve inek gübresi karışımını içeren reaktörden 170 ml CH₄/g UKM olarak elde edilmiştir. Matlab yazılımı ile oluşturulan matematiksel modelin, substrat karışım oranları ve uçucu katı madde miktarları model girdilerini dikkate alarak deneysel verileri desteklediği belirtilmiştir (Aljbour ve ark, 2021).

Atıksu çamuru ve kâğıt atıklarının termofilik sıcaklık koşullarındaki anaerobik birlikte sindiriminden elde edilen biyogaz üretimi ve mikrobiyal topluluğun karakterizasyonu araştırılmıştır. Kâğıt atıkları ile arıtma çamurunun termofilik sıcaklık koşullarında sindirimi çeşitli karışım oranları ile incelenmiştir. Biyogaz veriminin, %60'a varan kâğıt atık oranıyla 438 ml'den 594 mL/g-UKM'ye yükseldiği rapor edilmiştir. Kâğıt atığı ilavesi (kritik kâğıt atığı ilave oranı yaklaşık %63,64), protein bozulmasını zayıflattığı ve amonyum azotu eksikliğini daha da artırdığı belirtilmiştir. Kâğıt ilavesinden sonra selülitik bakterilerin baskın fonksiyonel grup haline geldiği belirtilmiştir (Zhu ve ark, 2021).

Palijik Sargassum adı verilen açık denizlerde büyük kütleler halinde yüzen esmer yosundan biyogaz üretimini, hidrotermal ön işlemi ve yiyecek atıklarıyla birlikte anaerobik

sindirime tabi tutarak incelemişlerdir. Palijik Sargassum'un tek başına anaerobik sindirimi, tam ölçekli bir enerji üretimi için uygulanabilir olmadığı belirtilmiştir. Hidrotermal ön işlemleri, Palijik Sargassum ve yiyecek atıklarının biyoelverişliliğini, ön işleme tabi tutulmayan Palijik Sargassum'a göre %212,57'ye kadar artırmıştır. En yüksek verimi ön işleme tabi tutulmuş Palijik Sargassum ve yiyecek atığının 25:75 ağırlıkça karışım oranında 292.18 ± 8.70 mL/gUKM olarak elde edilmiştir. Ayrıca yiyecek atıklarının, sadecemetan verimini artırmakla kalmadığı, çalışılan reaktörün tamponlama kapasitesi ve kararlılığını artırdığı belirtilmiştir (Thompson ve ark, 2021).

Mikroalg biyokütlesi ve yiyecek atıklarının, anaerobik olarak sindirilebilirliği ve biyogaz üretim potansiyeli, teker teker ve birlikte incelenmiştir. Mikroalgal biyokütlenin ve gıda atıklarının tekli sindirilmesi sonucu biyometan verimlerinin, uçucu katıların gramı başına sırasıyla 131–188 ve 430–542 ml (ml CH₄/g UKM) biyometan olarak bulunmuştur. Mikroalgal biyokütle ve yiyecek atığının birlikte sindirilmesi sonucu biyometan verimi 426-505 (ml CH₄/g UKM) olarak bulunmuştur. Mikroalgal biyokütle ve yiyecek atıklarının birlikte sindirilmesi, bu substratların tekli sindirilmesine göre metan üretiminde %12,3'e varan artışla sonuçlanmıştır (Plude ve Demirer, 2021).

Domates atıklarından biyogaz üretiminin, mezofilik kesikli ve sürekli anaerobik reaktörlerde deneysel verilerle karşılaştırmasını yapmışlardır. Karşılaştırmalı deneylerde domates atıkları, mısır sapları ve bu iki atığın birlikte sindiriminden elde edilen biyometan potansiyeli aynı ve yaklaşık olarak 280 ml metan/ g UKM bulunmuştur. Sürekli mezofilik reaktörde ise domates atığının yokluğu biyogaz üretimini nisbi olarak azaltmıştır. Günlük olarak, mezofilik sürekli reaktörlerden mısır sapı, domates atığı ve bu ikisinin birlikte anaerobik sindiriminden elde edilen biyogaz miktarları sırasıyla 860 ± 80 , 290 ± 50 ve 70 ml biyogaz/UKM olarak belirtilmiştir. Elde edilen biyogazın metan içeriği %46-48 olarak rapor edilmiştir. Sürekli mezofilik anaerobik reaktör, sindirim parametrelerinin tüm koşullar göz önüne alınarak, en optimal seçenek olduğu belirtilmiştir. Domates bitkisinin, tomatin ve tomatidin gibi bakterilerin işlevleri üzerinde durdurucu etkiye sahip olan malzemeler içerdiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmada tomatinin, kesikli reaktörlerde biyogaz verimi üzerine olumsuz etkiye sebep olduğu vurgulanmıştır. Domates atıklarının tek başına kesikli reaktörler kullanılarak, mısır sapı gibi yardımcı maddeler uygun karışım oranlarında eklendiğinde ise sürekli reaktörler içerisinde daha etkin değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır (Szilágyi ve ark, 2021).

Batık bir membran biyoreaktör içerisinde, yüksek organik yükleme oranlarında atıksu arıtma çamuru ve yiyecek atıklarının, birlikte anaerobik sindirimi süresince mikrobiyal dinamiklerini incelemiştir. Reaktör içerisinde baskın filum, Firmicutes (0.40-0.08) ve Aktinobakteri (0.03-0.08) olarak bulunmuştur. Uçucu yağ asitlerinin daha yüksek verimi için bol miktarda Olsenella ve Clostridium ise üstün bakteri topluluğu olduğu belirtilmiştir. Uçucu yağ asitleri bileşimi ve bakteri topluluğu arasında güçlü bir ilişki bulunmuştur. Daha yüksek bir organik yükleme oranı, bakteri topluluğu işlevini etkilediği belirtilmiştir (Qin ve ark, 2021).

Yiyecek atıklarının anaerobik sindiriminde, biyokömür ilavesinin rolünü incelemiştir. Biyokömür ilavesi, mikrobiyal topluluk kompozisyonunu önemli ölçüde değiştirmiştir. Anaerobik arıtım sistemine biyokömürün eklenmesi, amonyağın inhibisyonunu önlemiştir. Biyokömür ilavesinin, yiyecek atıklarından elde edilen biyogaz verimini ortalama %30 oranında artırdığı belirtilmiştir (Ambaye ve ark, 2021).

Biyobozunur plastiklerin, geleneksel anaerobik çürütücülerde, yiyecek atık miktarını azaltmak için değerlendirilebilmeleri üzerine çalışmıştır. Çalışmada piyasada bulunan en yaygın tek kullanımlık biyolojik olarak parçalanabilen öğelerin (taşıma çantası, çatal bıçak takımı ve tabaklar vb.) spesifik metan üretimini ve relatif kinetiği test edilmiştir. Nişasta bazlı biyobozunur plastik ürünleri, uzun alıkonma sürelerinde bile düşük bozunabilirlik göstermiştir. Asidik ve bazik ön işlemlerin benimsenmesi, poliaktik asit örnekleri ve nişasta bazlı biyobozunur plastiklerin anaerobik sindirim performansını iyileştirmiştir. Poli-hidroksi-alkanoatlardan (PHA) yapılmış malzemeler, daha kısa alıkonma sürelerinde (yaklaşık 10 gün) daha yüksek metan üretim oranı göstermiştir ve bu da bu malzemelerin, anaerobik arıtma tesislerinde yemek atıkları ile işlem görmelerine olanak tanıdığı belirtilmiştir (Battista ve ark, 2021).

İtalyan yiyecek atıklarının biyometan potansiyelini araştırmıştır. En çok tüketilen yiyeceklerin bulunması için İtalyan nüfusunun yeme-içme alışkanlıkları araştırılmıştır. En çok tüketilen yiyeceklerden, biyometan potansiyelini belirlemek amacıyla, sıralı ve yiyecekleri temsil edecek şekilde örnekler alınmıştır. Çalışmada biyometan üretim potansiyelini belirlemek için 2 yöntem kullanılmıştır. İlk yöntemde karbonhidrat, yağlar ve proteinlerin derişimlerinden hesap yapılmıştır. İkinci yöntemde ise elementel analiz yöntemi kullanılmıştır. İlk yöntemden elde edilen miktar 219 ml CH₄/g, ikinci yöntemden

elde edilen miktar ise 534 ml CH₄/g olarak rapor edilmiştir. Bulunan rakamlar dikkate alındığında, İtalya’da tüketilen yiyecek atıklarından üretilebilecek biyometan üretim potansiyelinin, birinci yöntem ile 1,543.x 10⁶ m³ CH₄, ikinci yöntem ile 3,092 x 10⁶ m³ CH₄ olabileceği belirtilmiştir. Belirtilen değerlerin yıllık enerji eşdeğeri ise 50.942 TJ ve 102.044 TJ olarak rapor edilmiştir (Luz ve ark, 2021).

Yiyecek atıkları ile ham gliserolün birlikte anaerobik sindiriminden elde edilebilecek biyogaz üretimini incelemişlerdir. Substratların farklı kombinasyon oranlarının, biyogaz üretimi üzerindeki etkisi, aşı ile incelenmiştir. Kesikli deneyler uygulanmıştır ve reaktörün pH seviyesi 6,5-8,0 arasında kaydedilmiştir. En yüksek biyogaz verimine, yiyecek atıkları ile ham gliserolün 3:1 karışım oranında ve 35 °C sıcaklığında ulaşılmıştır. Ayrıca biyogazın en yüksek seviyede ulaşıldığı bu koşullarda, en yüksek toplam katı madde oranı ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) azaltımı oranları sırasıyla %32,6 ve %35,8 bulunmuştur (Jensani ve ark, 2021).

Nim ağacının ölü yaprakları ile sebze atıklarının birlikte anaerobik sindiriminden elde edilebilecek biyometan ve biyogaz üretimi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada 1.durumda nim ağacının ölü yaprakları ve sebze atıklarının birlikte anaerobik sindirimi, 2.durumda sebze atıklarının tek olarak anaerobik sindirimi, 3.durumda nim ağacının ölü yapraklarının tek başına anaerobik sindirimi ve 4.durumda sebze atıkları ile sığır gübresinin birlikte anaerobik sindirimi incelenmiştir. 1 ve 4.durumlardan elde edilen biyogaz ve biyometan miktarları, 2.durumda bulunan biyogaz ve biyometan miktarlarından daha yüksek bulunmuştur. 2.durum ile kıyaslandığında, nim ağacının ölü yapraklarının, sebze atıkları ile birlikte anaerobik sindirimi, biyogaz ve biyometan verimini sırasıyla %87,27 ve %91,47 artırdığı, H₂S’i ise %146,73 oranında azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada 1.durumdaki en yüksek metan içeriğinin ısı ve elektrik üretimi için yeterli olduğu rapor edilmiştir (Muhammad ve Chandra, 2021).

Magnezyum takviyesinin yiyecek atıklarının ve evsel atık suların anaerobik birlikte sindiriminden üretilen biyogaz üzerindeki uyarıcı etkisini incelemişlerdir. Çalışma için kullanılan reaktör, kesikli olarak ve mezofilik sıcaklık koşullarında işletilmiştir. KOİ giderimi ve metan verimi açısından en yüksek performans 150 mg/L Mg²⁺ ilavesinde ulaşılmıştır. 150 mg/L Mg²⁺ ilavesinde KOİ giderim verimi ve metan içeriği sırasıyla, %83.1 ± 1.1 % and 61.4 ± %0.6 olarak rapor edilmiştir. Mg²⁺ ilavesi, KOİ giderimi ve

metan içeriğini sırasıyla %13,06 ve %10,63 oranında artırmıştır. Ayrıca magnezyum ilavesinin amonyak azotu ($\text{NH}_3\text{-N}$) birikimini ve amonyağın anaerobik sindirim üzerine olan inhibe edici etkisini azalttığı belirtilmiştir (Koirala ve ark, 2021).

Farklı kategorilerdeki mutfak atıklarından biyogaz üretim miktarlarını incelemişlerdir. Sebze, balık, tavuk, pirinç, ekmek, kağıt, yumurta vb. mutfak atıkları ve inek gübresi ile rumen sıvısı ve bakteriyel aşı varlığında biyogaz üretimini gözlemlemek için iki deney yapılmıştır. 48 saatlik bir sürede, rumen sıvısının kullanıldığı deneylerde, bakteriyel aşı kullanılan deneylere göre daha yüksek biyogaz hacmi elde edilmiştir. Biyogaz miktarları sebze atıkları için 21,75 ml/g, ekmek atığı için 31,25 ml/g, kağıt atığı için 25,5 ml/g, pirinç atığı için 22,25 ml/g olarak bulunmuştur. Diğer yandan tavuk ve balık atıkları için bu değerler 48 saat sonunda sırasıyla 8 ml/g ve 3 ml/g olarak bulunmuştur (Khan ve ark, 2021).

Yiyecek atıklarını iyileştirerek, sürekli karışimli bir mikrobiyal elektroliz hücresi (CSMEC) içinde eşzamanlı metanasyon ve biyoelektrik üretiminden sorumlu olan, türlerin verimlilik ve temel işlevselliğini incelemiştir ve CSMEC, sürekli karıştırılmalı tank reaktör (CSTR) performansı ile kıyas edilmiştir. Biyogaz verimi ve metan üretim oranları, CSTR'ye kıyasla CSMEC'de sırasıyla %16,5 ve %19,3 artmış olduğu. CSMEC, CSTR'ye kıyasla, performansta 1,52 kat daha iyi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Firmicutes, Synergistetes, Bacteroidetes, Thermotogae, Chloroflexi ve Proteobacteria, hem CSMEC hem de CSTR ile ilişkili baskın filumlar olduğu gözlemlenmiştir (Quashie ve ark, 2021).

Yiyecek atıkları için bir değerlendirme yöntemi olarak metan fermentasyonunun optimizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmanın amacının, en yüksek biyogaz ve metan üretimini elde etmek için substrat karışımının bileşimine ve anaerobik sindirimin teknik parametrelerine dayalı olarak yiyecek atık ürünlerinin metan fermentasyonunu optimize etmek olduğu belirtilmiştir. Çalışma laboratuvar ölçeğinde mezofilik (37°C) ve termofilik (55°C) sıcaklık koşullarda gerçekleştirilmiştir. En yüksek biyogaz verimi %50 et, %40 süt ürünleri, %10 meyve ve sebze içeren substrat karışımının mezofilik sindiriminden elde edilmiştir. 68.6 ± 1.8 metan ile $740.4 \pm 19.9 \text{ cm}^3.\text{g OKM}^{-1}$ (Organik Kuru Madde) biyogaz miktarına mezofillik koşullarda ulaşılmıştır. Termofilik sindirimdeki biyogaz potansiyeli, analog besleme stoğu için 2,1 ila 2,8 kat daha düşük bulunmuştur. 6 g

OKM·dm⁻³·gün⁻¹ üzerindeki organik yükleme oranlarının, süreci tamamen engellediği rapor edilmiştir (Kazimierowicz ve ark, 2021).

Yiyecek atıklarının biyometanasyonu sırasında, farklı H₂ enjeksiyon noktalarının, H₂/CO₂'nin CH₄'e dönüşümünü nasıl etkileyeceğini anlamak ve optimal bir enjeksiyon noktası belirlemesi incelenmiştir. Deneyler, Anaerobik sindirimin farklı aşamalarını temsil eden üç enjeksiyon noktasında anaerobik sindirim reaktörünün kafa boşluğunun %5'ine eşdeğer H₂ kullanılarak tasarlanmıştır. Genel olarak, Uçucu yağ asitleri (UYA) birikiminden önce, UYA birikimi sırasında ve tükenmiş UYA ara ürünlerinde eklenen H₂ için sırasıyla %12, %4 ve %10 CH₄ artışları ve ayrıca %39, %25 ve %34 CO₂ giderimi elde edilmiştir (Okoro-Shekwaga ve ark, 2021).

İki yaklaşımı (Otojenaratif yüksek basınç ve hidrojen enjeksiyonu) entegre ederek yiyecek atıklarından yüksek kalorili biyogaz üretimini incelemişlerdir. İki yaklaşımın entegrasyonu, yiyecek atıklarından anaerobik çürütücüden doğrudan yüksek CH₄ içerikli biyogaz üretilmesini sağlamıştır. 7 bar basınçta, pH değerinin 6,7'ye düşmesi sebebiyle biyogaz üretim veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. 0.25 L H₂/g KOİ_{beslenen yiyecek atığı}'de, CH₄ içeriği %92'ye yükseldiği, ancak CH₄ veriminin düştüğü belirtilmiştir. 5 bar ve 0,18 L H₂/g KOİ_{beslenen yiyecek atığı} 'de yüksek kalorili biyogaz (90% > CH₄, 180 MJ/m³) üretimi sağlanmıştır (Kim ve ark, 2021).

Yiyecek atıklarının anaerobik koyu fermentasyon performansını, istiridye kabukları kullanarak incelemişlerdir. %6-%12 oranında istiridye kabukları kullanılmıştır. En yüksek uçucu yağ asitleri üretimine %8 istiridye kabuğu oranında ulaşılmıştır. Uygun oranlarda istiridye kabuklarını kullananın, yiyecek atıklarından üretilcek hidrojen (H₂) ve uçucu yağ asitleri üretimini artırdığı belirtilmiştir (Shi ve ark, 2021).

Sürekli uçucu yağ asitlerinin giderilmesi için iki aşamalı anaerobik çürütme ve elektrodializi (ED) sistemlerini birleştirerek yiyecek atıklarından biyohidrojen ve biyometan üretiminin artırılmasını araştırmıştır. Elektrodializ ve iki aşamalı anaerobik çürütmenin birlikte kullanımı yiyecek atıklarından biyoenerji geri kazanımını %77,1 artırdığı belirtilmiştir (Hassan ve ark, 2021).

Grafit, grafen ve grafen oksidin atıksu arıtma çamuru ve yiyecek atıklarının anaerobik birlikte sindirilmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca antibiyotik direnç genlerinin varyasyonları ile mikrobiyal topluluğun evrimi üzerine etkilerini de incelemişlerdir. Metan verimini en çok grafenin, daha sonra grafit ve grafen oksidin artırdığı bulunmuştur. Grafenin, anaerobik sindirim sisteminde makrolid direnç genlerini ortadan kaldırdığı belirtilmiştir. Grafen oksit ilavesinin, anaerobik sindirim sisteminde, sülfonamid direnç genlerini etkili bir şekilde zayıflattığı rapor edilmiştir (Wang ve ark, 2021).

Antibiyotiklerin, yiyecek atığı ve çamurun anaerobik birlikte sindirilmesi süreci üzerindeki etkileri metatranskriptomik analiz ile araştırmıştır. Antibiyotiklerin hidroliz ve metanojenez süreçlerini inhibe ettiği ve geciktirdiği belirtilmiştir. Methanobacterium ve asetojenik Proteiniphilum miktarları antibiyotikler tarafından azaltıldığı belirtilmiştir (Wan ve ark, 2021).

Hidrotermal ön işlemin, yiyecek atıkları ve mısır koçanının birlikte sindirim performansı üzerine etkisini incelemiştir. Hidrotermal ön işlem, selülozun kristallliğini azalttığı belirtilmiştir. Yiyecek atıkları oranının uygun şekilde arttırılması, asit oluşum sürecini geliştirebileceği belirtilmiştir. Hidrotermal ön işlemin yiyecek atıkları ve mısır koçanının birlikte anaerobik sindiriminden elde edilecek metan miktarını artırabileceği sonucuna varılmıştır (Gao ve ark, 2021).

Nano-kabarcık su ilavesi ile yiyecek atıklarının iki aşamalı anaerobik parçalanmasından hidrojen ve metan üretimi yoluyla enerji geri kazanımını incelemişlerdir. Nano-kabarcık su ilavesi, F_{420} koenziminin etkinliğini artırdığı belirtilmiştir. Sonuç olarak Nano-kabarcık su ilavesinin, yiyecek atıklarından elde edilen H_2 ve CH_4 miktarlarını önemli derece artırdığı bulunmuştur (Hou ve ark, 2021).

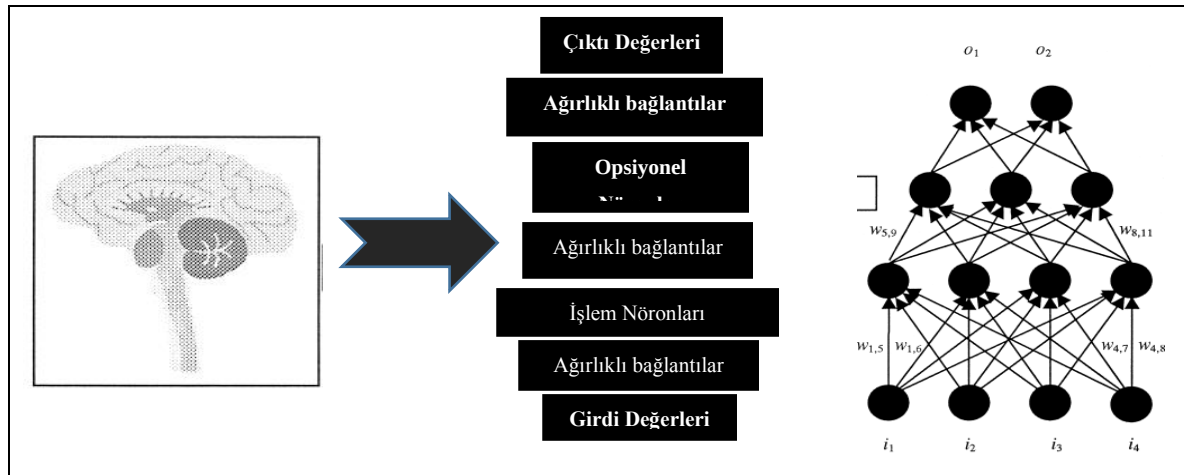
Bahçe atığı, yiyecek atığı ve tofu atıklarının teker teker ya da birlikte sindirilmesinin ve farklı karışım oranlarında, metan üretimi ve mikrobiyal topluluk yapısı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bahçe atıklarının, yiyecek ve tofu atıklarına göre substrat/aşı oranına daha dirençli olduğu bulunmuştur. Ayrıca birlikte sindirimin gecikme fazını önemli ölçüde kısalttığı belirtilmiştir. Bahçe atığı, yiyecek atığı ve tofu atıklarının karışım oranı 3:4:3

olduğunda en yüksek metan verimi 370.54 mL/g UKM olarak bulunmuştur (Song ve ark, 2021).

4. MATERYAL VE METOT YAPAY SİNİR AĞLARI

4.1. Yapay Sinir Ağları Genel Özellikleri ve Çalışma Prensipleri (YSA)

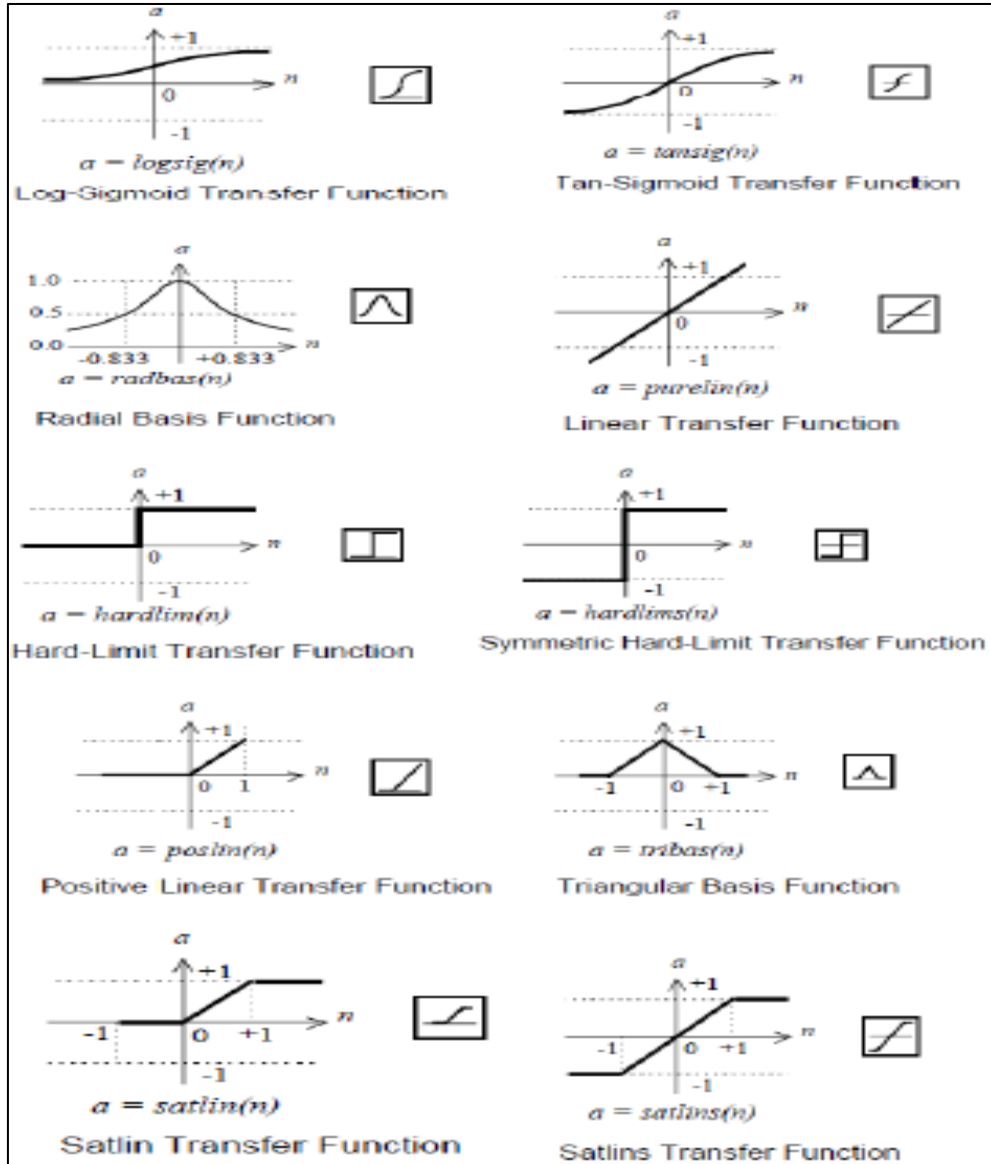
Yapay sinir ağları, beyin ve sinir sistemi çalışmalarına dayalı bir teknolojidir. Bu ağlar biyolojik bir sinir ağını taklit eder, ancak biyolojik sinir sistemlerinden azaltılmış bir dizi kavram kullanırlar. Özellikle, YSA modelleri beyin ve sinir sisteminin elektriksel aktivitesini taklit eder. İşleme elemanları (nöron veya algılayıcı olarak da bilinir) diğer işleme elemanlarına bağlıdır. Tipik olarak, nöronlar bir katman veya vektörde düzenlenir ve bir katmanın çıktısı bir sonraki katmana ve muhtemelen diğer katmanlara giriş olarak hizmet eder. Bir nöron, sonraki katmandaki nöronların tümüne veya bir alt kümesine, beyin sinaptik bağlantılarını simüle eden bu bağlantılarla bağlı olabilir. Bir nörona giren ağırlıklı veri sinyalleri, bir sinir hücresinin elektriksel uyarımını simüle eder ve sonuç olarak ağ veya beyin içindeki bilgi aktarımını simüle eder. Bir işleme elemanının girdi değerleri, i_n , beyindeki sinir yollarının güçlendirilmesini simüle eden bir bağlantı ağırlığı, $w_{n,m}$ ile çarpılır. Öğrenmenin YSA'larda taklit edilmesi, bağlantı güçlerinin veya ağırlıklarının ayarlanması yoluyla olur (Walczak ve Cerpa, 2003).



Şekil 4.1. Basit yapay sinir ağı mimarisi (Tüm ağırlıklar gösterilmemiştir.) (Walczak ve Cerpa, 2003)

Bir işleme elemanına verilen tüm ağırlık ayarlı girdi değerleri daha sonra toplama (yani, $y = \sum w_{i,j} \cdot x_i$), ortalama alma, maksimum girdi değeri veya mod değeri gibi bir vektörden skalar fonksiyona bir vektör kullanılarak toplanır ve nörona tek bir girdi değeri üretir. Giriş değeri hesaplandıktan sonra, işlem elemanı çıkışını (ve sonuç olarak bir sonraki işlem

katmanı için giriş sinyallerini) üretmek için bir transfer fonksiyonu kullanır. Transfer işlevi, nöronun giriş değerini dönüştürür. Tipik olarak bu dönüşüm, bir sigmoid, hiperbolik-tanjant veya diğer doğrusal olmayan fonksiyonun kullanımını içerir. İşlem, sinir ağı tarafından nihai bir çıkış değeri, O_n veya değer vektörü üretilene kadar işleme elemanlarının katmanları arasında tekrarlanır. Teorik olarak, insan sinir sisteminin asenkron aktivitesini simüle etmek için, yapay sinir ağının işlem elemanları da asenkron bir şekilde ağırlıklı giriş sinyali ile aktive edilmelidir. Bununla birlikte, yapay sinir ağlarının çoğu yazılım ve donanım uygulamaları, bir girdi değerleri vektörünün her sunumu için her bir işleme ögesinin bir kez etkinleştirilmesini garanti eden daha ayrık bir yaklaşım uygular (Walczak ve Cerpa, 2003).



Şekil 4.2. En çok kullanılan aktivasyon ve transfer fonksiyonları (Karakaya, 2012)

4.1.1. Yapay sinir ağıları avantaj ve dezavantajları

Yapay sinir ağlarının avantaj ve dezavantajları maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir (Karakaya, 2012).

Avantajları;

- Yapay sinir ağıları, olaylara mantık çerçevesinde bakar ve olaylara hakim olarak bilgisayarların mevcut durumu öğrenmesi ve en ideal kararı vermesini sağlarlar.
- Mevcut verileri işleme yöntemleri sayesinde, geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında daha az hata vermektedirler.
- Geleneksel yöntemlere göre verilen korunması ve saklanması, yapay sinir ağlarında daha gelişmiş ve güvenlidir. Yapay sinir ağlarında veriler bir dosyalama düzeni ya da veri tabanında değil nöronlarda saklanmaktadır. Nöronlardan birkaçı kullanılmaz halde olsa bile, ağ bağlantılarında saklanan anlamlı verilerin kaybı meydana gelmemektedir.
- Yapay sinir ağlarında, verilerden elde edilmek istenen çıktı verilerinin başarı oranı, ağın girdi verileri ile eğitilmesine ve ağın girdi verilerini tanımasına bağlıdır.
- Yapay sinir ağlarının veri girişleri ile eğitimi esnasında elde edilen örneklerden yeni bilgiler elde edilebilmektedir
- Yapay sinir ağların olayların algılanmasında başarılı olduğu, yapılan çalışmalarla da desteklenmiştir.
- Yapay sinir ağıları, kendisine tanıtılan örüntüleri farklı veri setleriyle ilişkilendirebilir ve seçilecek veri setine karar verebilir.
- Yapay sinir ağıları çevrimiçi olarak öğrenme ve kendi kendini eğitme kabiliyetine sahiptir.
- Eksik veriler ile de çalışarak performans kaybı yaşamadan yeni veriler oluşturabilmektedir. Sistem performansı eksik verinin türüne ve sistemde tanıtılan önem sırasına göre farklılık göstermektedir.
- Eksik verilerle çalışabilmek, yapay sinir ağlarının hatalara karşı ne kadar duyarlı olduğunun bir ölçüsüdür.
- Yapay sinir ağlarında sistemin çökmesi birden gerçekleşmez ve sistemdeki bozulma, ağlarda meydana gelebilecek sorunlardan ötürü aşama aşama olmaktadır.

- Yapay sinir ağlarında her bir ağ, verileri ve içerdiği bilgileri belirli ağırlıklarda taşımaktadır. Dolayısıyla her bir ağ sadece kendi başına bütün bilgileri içermez. Ancak ağlar bir araya geldiğinde toplanan bilgiler ile anlam kazanmaktadır.
- Dezavantajları;
- Yapay sinir ağlarındaki en önemli problem donanım ihtiyacıdır. YSA'lar paralel bir şekilde işlev kabiliyetine sahip olduğundan, paralel işlev gerçekleştiren işlemcilerle birlikte performans gösterirler.
- YSA'lar ideal veri setinin belirlenmesi amacıyla bir kurala sahip değildir. İdeal ağ yapısına deneyim ve deneme yanılma ile ulaşılabilir.
- Öğrenme katsayısı, hücre sayısı ve katman sayısı etmenlerinin seçilmesinde belirli kurallar bulunmamaktadır. Dolayısıyla veri setlerine olan yaklaşımlar değişiklik gösterebilir.
- YSA'ların çalışma prensibi nümerik sisteme dayandığından, verilerin sisteme öğretilmesi esnasında nümerik sisteme dönüşmeyen veriler sistemde problemlere yol açmakta dolayısıyla sistemin verimine etki edebilmektedir.

Çizelge 4.1. Yapay sinir ağları ve geleneksel algoritmaların kıyaslanması (Karakaya, 2012).

GELENEKSEL ALGORİTMALAR	YAPAY SİNİR AĞLARI
Çıktılar, girdilere uygulanan kurallar sonucu elde edilir.	Kurallar, öğrenme sırasında girdi ve çıktı verileri verilerek koyulur
Hesaplama; merkezi, eş zamanlı ve art ardadır.	Hesaplama; hep birlikte, eş zaman olmadan ve öğrenme sonrası paraleldir.
Hafıza paketlenmiş ve mevcut bilgi depo edilmiştir.	Hafıza ayrık şekildedir ağa yayılmıştır. Dahilidir.
Hataya olan tolere edilebilirlik mevcut değildir.	Hataya tolere edilebilir mevcuttur.
Nisbi derecede hızlıdır.	Yavaş olmakla birlikte donanıma bağlıdır.
Bilgi ve algoritmalar kesindir.	Deneyimden faydalanılır.

4.1.2. Yapay sinir ağlarının sınıflara ayrılması

Yapay sinir ağları çalışma prensibi olarak benzerlikler gösteriyor olsa da, yapay sinir ağının mimari yapısı, öğrenme yöntemi ve bağlantı yapıları gibi faktörler sebebiyle farklı olabilmektedir. YSA'ların genel olarak sınıflandırılması şu özelliklere göredir;

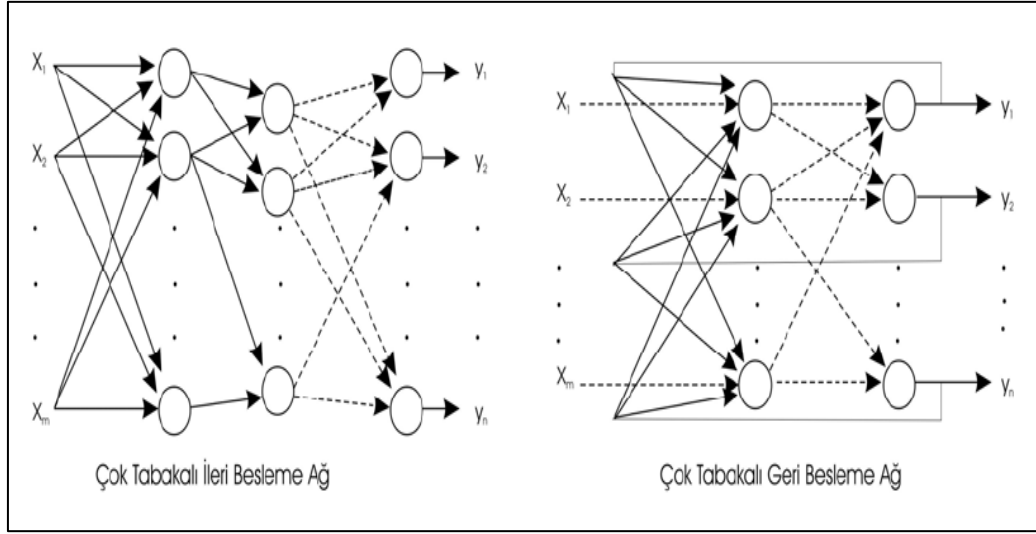
- Yapay sinir ağlarının yapılarına göre
- Öğrenme yöntemlerine göre
- Öğrenme zamanına göre (Karakaya, 2012).

Yapılarına göre yapay sinir ağları

Yapay sinir ağlarının birbirine bağlanma şekilleri esas alınarak yapılarına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak iki sınıfa ayrılmıştır (Karakaya, 2012).

İleri beslemeli yapay sinir ağlarının işlem elemanları arasında bir çevrim söz konusu değildir. Girdi verileri için karşılık verme hızları yüksektir. Giriş ve çıkış arasındaki nöronlar, girişten çıkışa yönelen düzenli katmanlar halindedir ve her katman kendinden sonraki diğer katman ya da katmanlarla bağ oluşturmuştur. YSA'lara gelen bilgilerin izlediği yol ileri beslemeli ağlarda sırası ile giriş katmanı, ara katmanlar ve çıkış katmanı ve nihai çıktıdır (Karakaya, 2012).

Geri beslemeli yapay sinir ağlarının işlem elemanları arasında ise bir çevrim söz konusudur. Bu tür yapay sinir ağlarının ileri beslemeli yapay sinir ağlarına göre farkı şudur: Bir nöronun çıktı verileri, bir sonraki katmanlara girdi olarak tanımlanmakla birlikte kendinden önce gelen katmanlara ya da kendi katmanında bulunan nöronlara girdi verisi olarak tanıtılabilmektedir. Ayrıca geri beslemeli yapay sinir ağlarının eğitimi, ileri beslemeli yapay sinir ağlarına göre sahip olduğu çevrimden ötürü daha yavaştır ve daha geç sürede çıkış verileri elde edilir (Karakaya, 2012).



Şekil 4.3. İleri ve geri beslemeleri ağların yapıları (Karakaya, 2012)

Öğrenme yöntemlerine göre yapay sinir ağları

Yapay sinir ağlarının kendisine tanıtılan girdi verilerinden çıktı verilerini oluşturması, yapay sinir ağlarının öğrenme kapasitesi ile ilişkilidir. Yapay sinir ağları öğrenme yöntemlerine göre gözetimli, gözetimsiz ve takviyeli öğrenme olmak üzere üç sınıfa ayrılır (Karakaya, 2012).

Gözetimli öğrenmede YSA'lara girdi verilerinin yanı sıra, ağdan beklenen çıktı verileri de tanımlanır. YSA'lar da bu duruma göre ağırlık atamalarında değişikliğe gider. Ağa tanımlanan girdi verileri ile istenen çıktı verileri arasındaki hata payları hesaplanır. Yeni ağırlık atamaları elde edilen hata paylarına göre atanır. Her nöron kendi payına düşen hata oranına göre ağırlık değişimi yaparak, hedeflenen çıktı verilerine en yakın sonucu alana kadar devam eder (Karakaya, 2012).

Gözetimsiz öğrenmede YSA'lara sadece örnek veriler tanıtılır ve ağlara çıktı verisi girilmez. Sisteme girdi verileri tanıtılır ve ağlar verileri kendi aralarında sınıflara ayırarak kendine özgü kuralları meydana getirir (Karakaya, 2012).

Takviyeli diğer adıyla destekleyici öğrenmede ağlardan elde edilen veriler sınıflandırılır (iyi-kötü). Böylece ağlar, sınıflandırılmış iyi ya da kötü verilerin ışığında kendinde düzenleme yapar, eğitir ve çevrimi sürdürerek devamlı işlemeye devam eder (Karakaya, 2012).

Öğrenme yöntemlerine göre yapay sinir ağları

YSA'larda statik öğrenme prensibine sahip olan sistemlerde ağlar, ilk başta bir işlevi gerçekleştirmeden önce eğitilmektedir. Eğitim bölümü tamamlandıktan sonra ağlara işlemler yaptırılabilir. Ağlar kullanılırken, taşıdıkları ağırlıklar güncellenemez (Karakaya, 2012).

YSA'larda dinamik öğrenme yöntemi ise, sistem çalıştığı sürece öğrenmesi öngörüsü üzerine tasarlanmış bir öğrenme yöntemidir. Ağların eğitimi tamamlandıktan sonra, türetilmiş çıktı değerlerinin uygunluğuna göre ağırlık değerlerine farklı değerler verilerek işlemler devam ettirilebilir (Karakaya, 2012).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

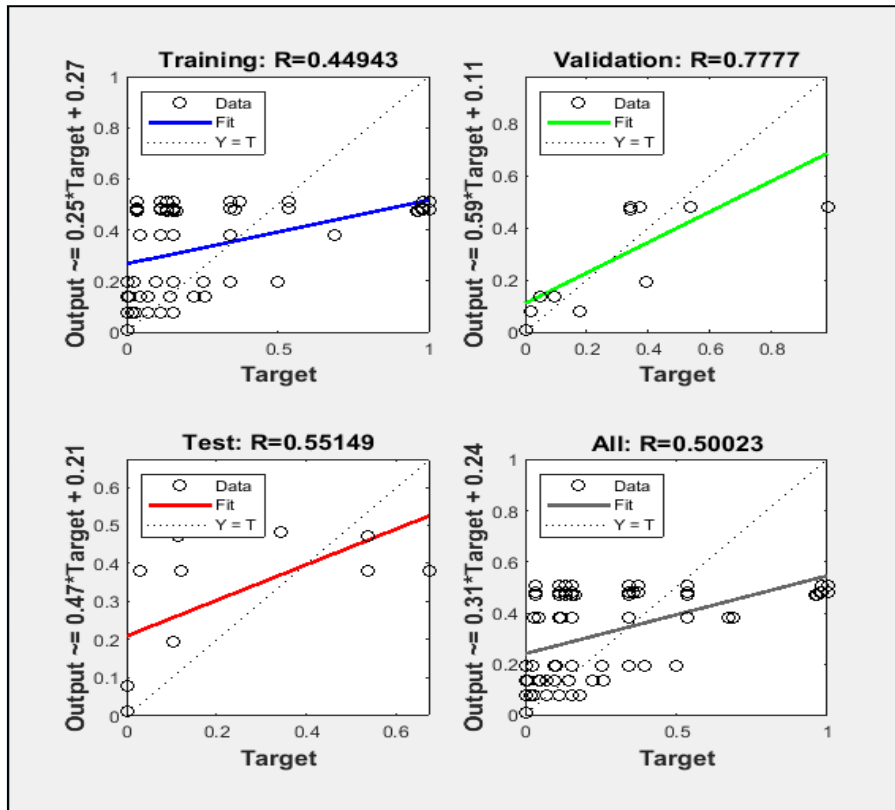
Veri setimizdeki veri dönüşümü ve analize hazır hale getirdikten sonra veri setimizden Test-Eğitim verisini belirlenmiştir. Literatürde veri setinin %70 Eğitim, %30 Test ya da %80 Eğitim, %20 Test verisi olarak bölmek kabul görmüştür. Train veri seti üzerinde temel modelleme denemeleri yapılarak en doğru makine öğrenmesi algoritması seçilmeye çalışılmıştır. Bu veri seti üzerinden en fazla örneklem alınan satırlardan oluşur. Validation bölümü train veri seti içinden seçilir. Train veri seti üzerinde doğru model seçimi yapılarak algoritma belirlenir. Validation bölümünde ise uygulanan model iyileştirilmeye çalışılır. Bunun için hiper parametrik (hyperparameter tuning) uygulamalar denenerek en optimum katsayılar/ağırlıklar bulunmaya çalışılır. Özellikle çok büyük veri setleri üzerinde sürekli Train verisi üzerinden çalışamayacağı için küçük bir bölüm alınarak validation olarak tanımlanır. İçinde Validation verisinin yer aldığı Train veri setinden kalan bölüme Test veri seti denilir. Train bölümünde tahminler ile gerçek veriler karşılaştırılır. Uygulama esnasında test veri setindeki Target değişkeni kaldırılır. Ardından kurulan modele test verisindeki değişkenler ('x' input değerleri) eklenerek modelden Target değişken tahmin edilmesi beklenir. Ardından tahmin edilen değişkenler ile daha önce veri setinden çıkarılan Target değişken karşılaştırılıp model performansı ölçülür.

Elde edilen tüm modellerde kullanılan yapay sinir ağları, yapılarına göre yapay sinir ağlarında geri beslemeli (geri yayımlı) sınıfa, öğrenme yöntemlerine göre yapay sinir ağlarında gözetimli öğrenme sınıfına ve öğrenme zamanına göre yapay sinir ağlarında ise dinamik öğrenme yöntemi sınıfına girmektedir. Kullanılan deneysel verilerin bağımlı değişken değerleri belli olduğu için gözetimli öğrenme sınıfı seçilmiştir ve gözetimsiz öğrenmede bağımsız değişken değerleri kullanılmamaktadır. Dolayısıyla makine öğrenmesi algoritmalarında gözetimli öğrenme sınıfı kullanılarak elde edilen modeller, gözetimsiz öğrenme sınıfı kullanılarak elde modelleri ile kıyaslandığında daha doğru olma eğilimindedir. Yapay sinir ağı eğitimi için

R^2 değeri, değişkenlerden birindeki değişimin ne kadarının diğer değişken tarafından açıklandığının yüzde olarak ifade edilebilmesini sağlar. Değişkenlerin birbirlerinde açıkladıkları varyans miktarı korelasyon katsayısının (R) karesine eşittir ve buna determinasyon katsayısı denir.

Gizli Katmanlar (Hidden Layers): Giriş katmanı ile çıkış katmanları arasındaki katmanlardır. Katmanların sayısı ve üzerindeki nöron sayıları veri setlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu katmanlarda ileri yönlü hesaplamalar ve geri yönlü hata yayılımı yapılır. Katman sayısının çok olması hesaplama karmaşıklığına ve hesaplama süresinin artmasına sebep olur. Karmaşık problemlerde problem çözümü için genelde katman sayıları ve katmanlardaki nöron sayıları fazladır. Bu çalışmada en ideal sonuç gizli katman sayısının 10 olduğu durumda elde edildiği için gizli katman sayısı 10 olarak seçilmiştir.

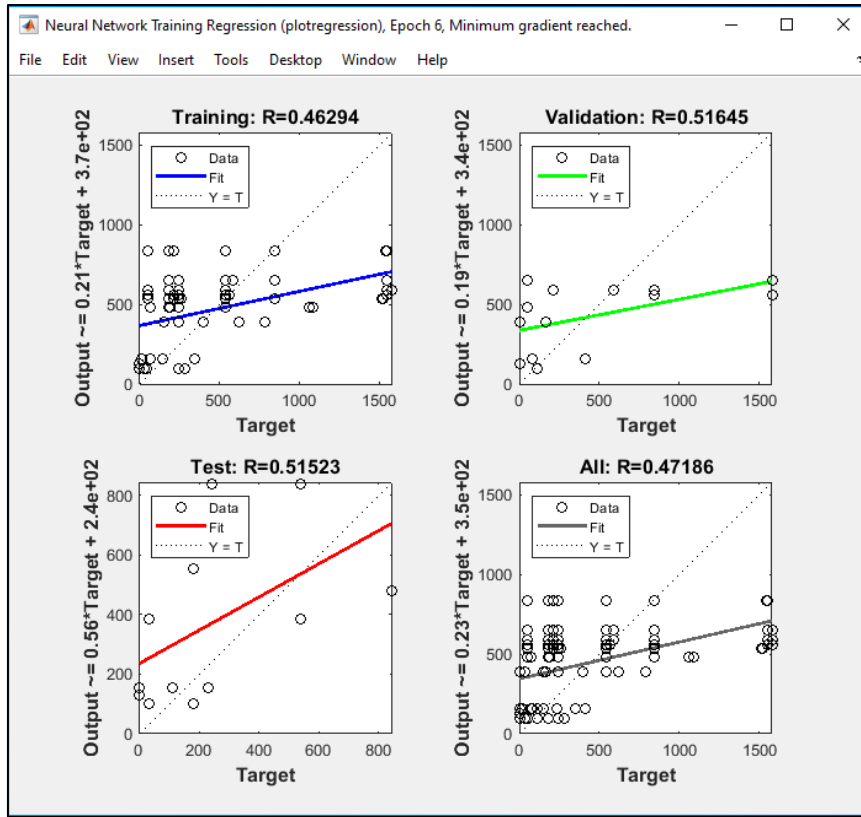
Biyogaz üretimi için tek kademeli anaerobik sistemde, hammadde olarak rendeden geçirilmiş havuç, patates, muz, kıyma, peynir, krema, armut, elma ve tavuk kullanılmıştır ve yapılan çalışmada biyogaz üretimi 2.günden itibaren artış gözlemlenmeye başlandığı ve 10.günde dengeye ulaştığı belirtilerek bekleme süresinin önemi belirtilmiştir (Uludağ, A. (2019)). Model-1 için bekleme süresi ile elde edilmiş biyogaz verileri arasındaki ilişki yapay sinir ağları ile incelenmiştir. Girdi değişkeni bekleme süresi olarak 1 adet, gizli katman sayısı 10 olarak seçilmiştir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler, aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanıldığı için normalize edilmiştir (EK-1). Model-1 sonucu şu şekildedir:



Şekil 5.1. Model-1 bekleme süresi ve biyogaz arasındaki ilişki.

Model-1 sonucu olarak bekleme süresi ile biyogaz arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. R_1 değeri 0.50 bulunmuştur ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğunugösterir. R değerinin karesi açıklanan varyans yani determinasyon katsayısını vermektedir. Model-1'e ait ilgili denklemler Resim 5.1.' de gösterilmiştir. $\text{Output} = 0.31 \cdot \text{Target} + 0.2$ denklemi dikkate alındığında Model-1'de bekleme süresi, biyogaz verilerinin yaklaşık %31'ini açıklamaktadır.

Model-1'den sonra Model-2'yi oluşturmak için, Model-1 de kullanılan deney verilerine ek olarak 2 adet bağımsız değişken daha eklenerek toplam bağımsız değişken sayısı 3 olmuştur. Eklenen bağımsız değişkenler katı madde oranı (%KM) ve sıcaklıktır ($^{\circ}\text{C}$). Böylece Model-1'den farklı olarak aynı deney verileri ile bekleme süresi, sıcaklık ve katı madde oranının, bağımlı değişken olan biyogaz ile olan ilişkisi yapay sinir ağları ile incelenmiştir. Model-1'den farklı olarak Model-2'de Sigmoid aktivasyon fonksiyonu yerine değerler TANSIG aktivasyon fonksiyonu ve eğitim fonksiyonu olarak TRAINLM kullanılmıştır. Model-2 için girdi sayısı yani bağımsız değişken sayısı 3, gizli katman sayısı 10'dur. Model-2 sonucu Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Model-2 bekleme süresi, sıcaklık, katı madde oranı bağımsız değişkenlerinin bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki.

Model-2 sonucu olarak bekleme süresi, sıcaklık, katı madde oranı ile biyogaz arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. R_2 değeri 0.4718 bulunmuştur ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğunu gösterir. $\text{Output} = 0.23 \cdot \text{Target} + 3.5e + 0.2$ denkleminde göre bekleme süresi, katı madde oranı ve sıcaklık bağımsız değişkenleri biyogaz verilerinin yaklaşık %23 oranında açıklamaktadır.

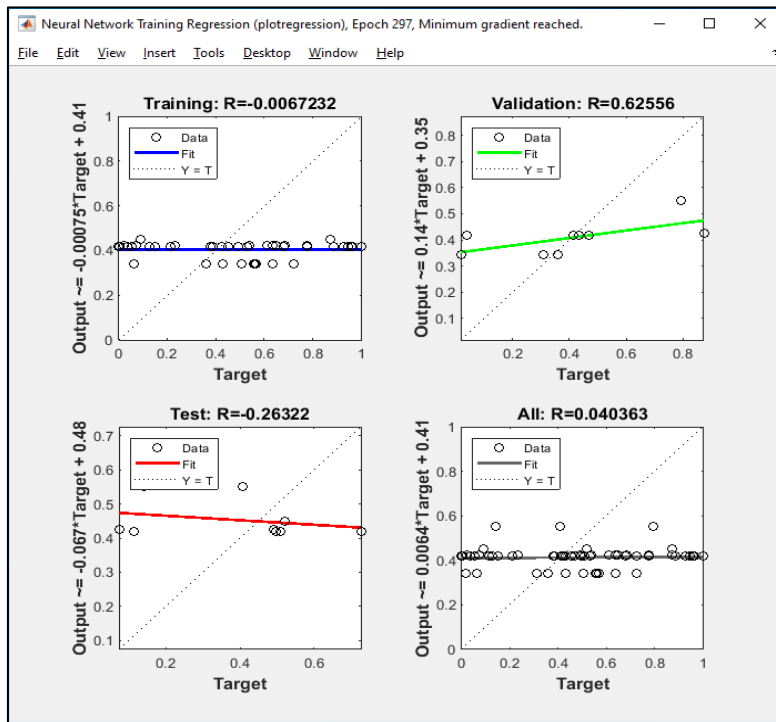
Model-3 için EK-2’de belirtilen Diyarbakır ili sebze ve meyve atıklarından biyogaz potansiyelinin araştırılması (Kızmaz,2019) çalışması temel alınmıştır. Çalışmada elde edilen analiz sonuçlarına bakıldığında bekleme süresinin önemi, ilgili çalışmanın Çizelge 5.1’de görülmektedir. En yüksek biyogaz üretimine 14 gün bekleme süresinde ulaşıldığı belirtilmiştir. Ayrıca bu çizelge bekleme süresi ile birlikte sıcaklık parametresinin önemini de göstermektedir. Model-3 için Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu kullanıldığı için değişkenlerin normalize değerleri ile işlem yapılmıştır. Girdi olarak önce bekleme süresi sonra girdi olarak bekleme süresi ve sıcaklık normalize değerleri birlikte girdi olarak yani bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Girdilerin biyogaz ile olan ilişkisi yapay sinir ağlarında incelenmiştir. Model-3 ve Model-4 değerleri sonucu R_3 ve R_4 değerleri 0.99 olarak bulunmasına rağmen Test ve Validasyon testleri hata verdiği için R_3 ve R_4 değerleri dikkate alınmamıştır. Bu durum literatürde aşırı öğrenme diğer adıyla overfitting durumudur. Veri setinin algoritmanın kendisine verilen veri setinin yapısını çok iyi düzeyde öğrenip hatta ezberleyip görmediği yeni veri setleri üzerinde tahmin yapmak istendiğinde başarısız olma durumudur. Bir diğer deyişle, veriyi test ve train olarak 2’ye ayırılır. Algoritma eğitim setini çok iyi öğrenmektedir. Ancak görmediği veri setiyle modeli tahmin etmeye çalıştığımızda tahmin performansı düşmeye başlamaktadır. Bu duruma aşırı öğrenme (overfitting) denmektedir. Overfitting probleminin çözümü için aşağıdaki metodlar izlenebilir;

Öz nitelik sayısını azaltmak: Birbirleriyle yüksek korelasyonlu olan kolonlar elimine edilebilir ya da faktör analizi gibi metodlarla bu değişkenlerden tek bir değişken oluşturulabilir.

Daha fazla veri eklemek: Eğer eğitim seti tek düze ise daha fazla veri ekleyerek veri çeşitliliği artırılır.

Düzenleme: Düzenleme, modelin karmaşıklığını azaltmak için kullanılan bir metottur. Bunu kayıp fonksiyonu cezalandırma ismi de verilir. Bir başka deyişle ağırlığı yüksek olan değişkenlerin ağırlığını azaltarak bu değişkenlerin etki oranını azaltır. Bu metot, aşırı öğrenme probleminin giderilmesine yardımcı olur. Kayıp fonksiyonu, gerçek değer ile tahmini değer arasındaki farkın karelerinin toplamına eşittir. Değişkenlerin ağırlığını azaltmak için düzenleme değerini arttırmak gerekir. En popüler Düzenleme metotları Lasso ve Ridge metodlarıdır.

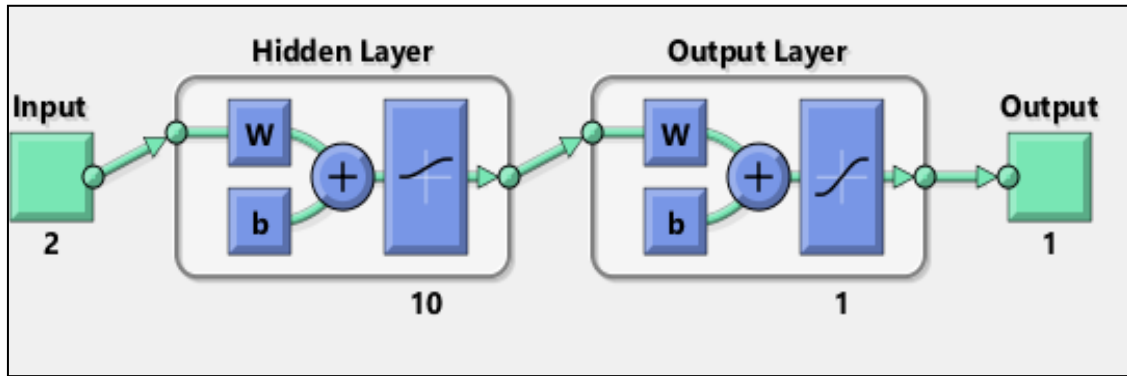
Model-5 için EK-3'te belirtilen yemek atıkları numunelerinden elde edilen parametreler ve normalize edilmiş (Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu kullanıldığı için) değerlerden katı madde oranı ve biyogaz parametreleri kullanılmıştır. Tüzüm (2019) tarafından yapılan çalışmada pH, sıcaklık ve katı madde oranı bağımsız değişkenler olarak belirlenmiş ve bağımlı değişkenler olan biyogaz üretim hızı, KOİ'deki azalma ve asetik asit üretim hızına olan etkisi bekleme süresi sabit tutularak incelenmiştir. EK-3 dikkate alınarak bekleme süresi yapay sinir ağları ile incelendiğinde aşağıdaki modellerde önemli bir parametre olduğu görülmektedir. Model-5 için ilk olarak katı madde oranının biyogaz ile olan ilişkisi sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve eğitim fonksiyonu olarak TRAINGDX fonksiyonu kullanılmıştır. Model-5 için gizli katman sayısı 10 olarak seçilmiştir.



Şekil 5.3. Model-5 katı madde oranı bağımsız değişkeninin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki.

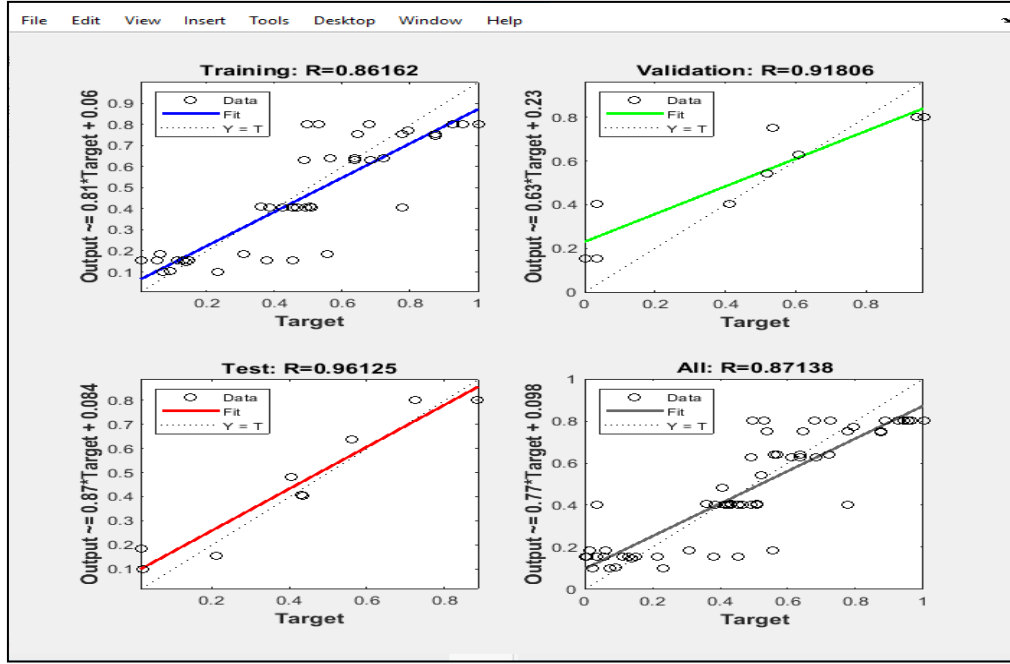
R_5 değeri 0.04 bulunmuştur ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki pozitif yönlüdür. Output-Target denkleminde bakıldığında R_5 değerinin karesi (0.006) ve temsil yüzdesi neredeyse yok denecek kadar azdır. Bu sebeple katı madde oranının biyogaz verilerini açıklayabilme ilişkisi çok düşük bulunmuştur (Yaklaşık %1).

Model-6 için EK-3'te belirtilen yemek atıkları numunelerinden elde edilen parametreler ve normalize edilmiş değerlerden katı madde oranı, bekleme süresi ve biyogaz parametreleri kullanılmıştır (Tüzüm, 2003). Öncelikle katı madde oranının ve bekleme süresinin biyogaz ile olan ilişkisi sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve eğitim fonksiyonu olarak TRAINGDX fonksiyonu kullanılmıştır. Model-6 için gizli katman sayısı 10 olarak seçilmiştir.



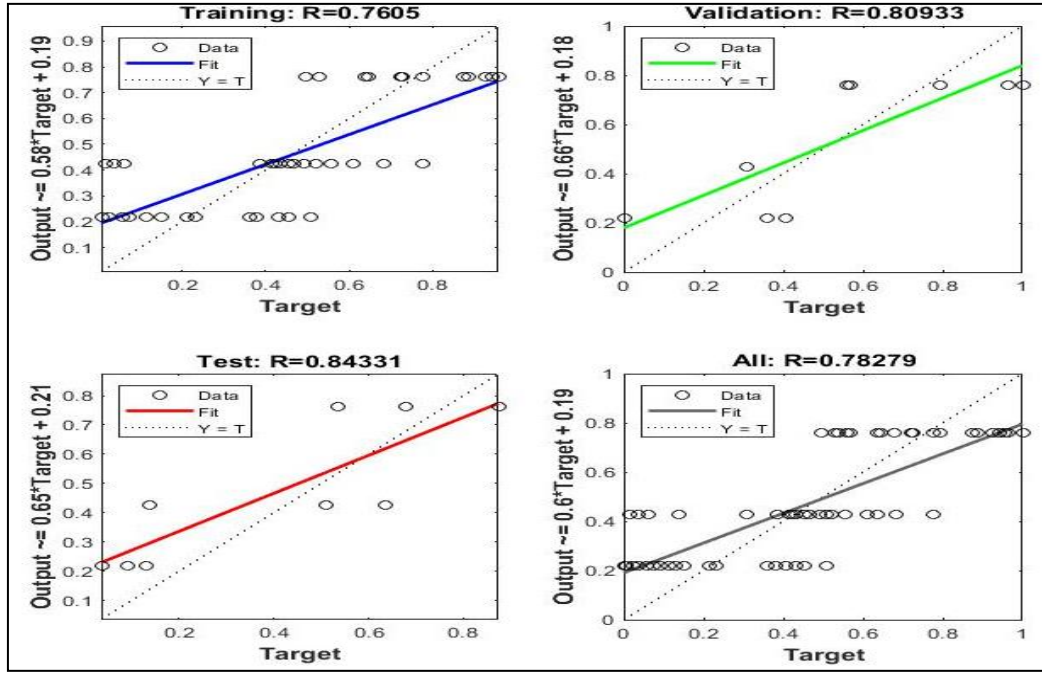
Şekil 5.4. Model-6 bekleme süresi ve katı madde oranının bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişkisini içeren yapay sinir ağı ve katmanları

Bekleme süresi ve katı madde oranı bağımsız değişkenlerinin biyogaz bağımlı değişkeni ile olan ilişkisi yapay sinir ağı ile incelendiğinde R_6 değeri 0.87 bulunmuştur, bu ilişki pozitif yönlüdür ve bu değer 1'e yakın olduğu için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında güçlü bir ilişki vardır. R_6 değerinin karesi bizlere açıklanan varyans yani determinasyon katsayısı olan R^2 değerini vermektedir. R_6 değeri için R^2 değeri yaklaşık 0.77 olarak bulunmuştur. Yani bu Model-6 bağımsız değişkenleri biyogaz bağımlı değişkeninin yaklaşık %77'sini açıklayabilmektedir. Bu ilişki Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Model-6 bekleme süresi ve katı madde oranının bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki grafiği.

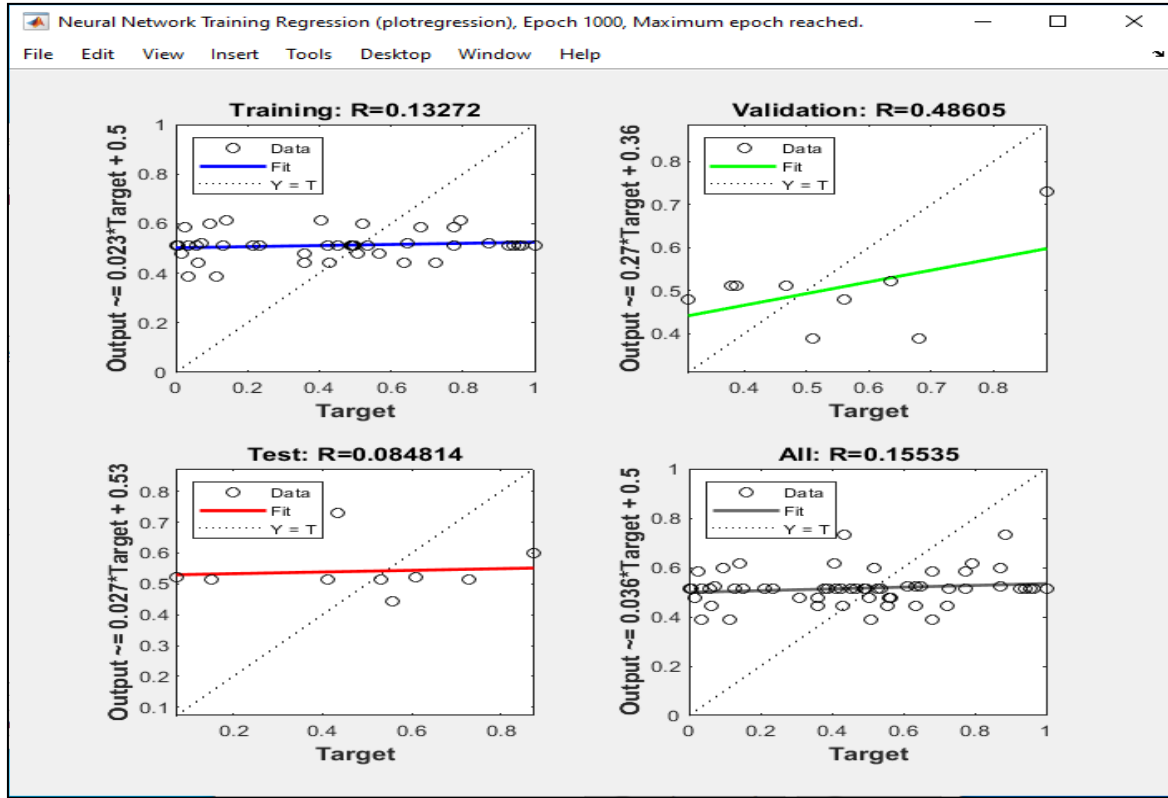
Model-6.1’de, Model-6’ya uygulanan bütün işlemler Model-6.1’de uygulanmıştır. Model-6.1’de ki fark bağımsız değişkenlerde sadece bekleme süresi olmasıdır. Yani Model-6.1’de sadece bekleme süresi ile biyogaz üretimi arasındaki ilişki incelenmiştir. $R_{6.1}$ değeri 0.78 bulunmuştur. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında 1’e yakın olduğu için güçlü bir ilişki olduğunu gösterir. Model-6.1 için R^2 değeri yaklaşık 0.6’dır. Output-Target sonucu Şekil 5.6’da da görüldüğü gibi bekleme süresi biyogaz verilerinin yaklaşık %60 oranında açıklamaktadır.



Şekil 5.6. Model-6.1 bekleme süresi bağımsız değişkeninin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki grafiği.

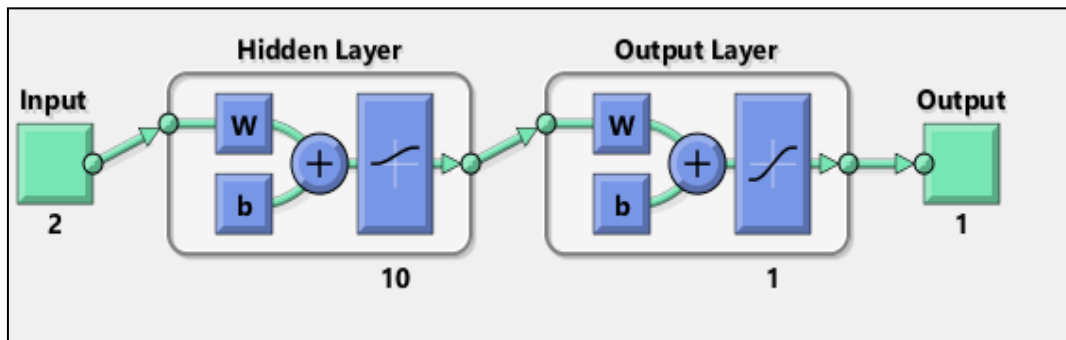
Model-6.2’de, Model-6’ya uygulanan bütün işlemler Model-6.2’ye uygulanmıştır. Model-6.2’de ki fark bağımsız değişkenlerde sadece sıcaklık parametresi olması ve gizli katman sayısı olarak hem 10 adet hem de 4 adet gizli katman ayrı ayrı kullanılmasıdır. Yani Model-6.2’de sadece sıcaklık ile biyogaz üretimi arasındaki ilişki incelenmiştir. $R_{6.2}$ değeri, gizli katman sayısı 10 olan ağ içinde gizli katman sayısı 4 olan ağ içinde yaklaşık 0.005 olarak bulunmuştur. Bu da determinasyon katsayısının ve dolayısıyla sıcaklık değişkeni ile bu modelde biyogaz arasındaki ilişkinin çok düşük olduğunu ve sıcaklığın tek başına bekleme süresi parametresi kadar etki etmeyeceğini göstermiştir.

EK-3’te belirtilen normalize edilmiş (Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu kullanıldığı için) değerlere sahip katı madde oranı ile sıcaklık bağımsız değişkenlerinin biyogaz bağımlı değişkeni ile olan ilişkisi Model-7’de, bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin biyogaz bağımlı değişkeni ile olan ilişkisi Model-8’de gösterilmiştir. Gizli katman sayısı Model-7 ve Model-8’de 10’dur. Aktivasyon fonksiyonu olarak Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. R_7 ve R_8 değerleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

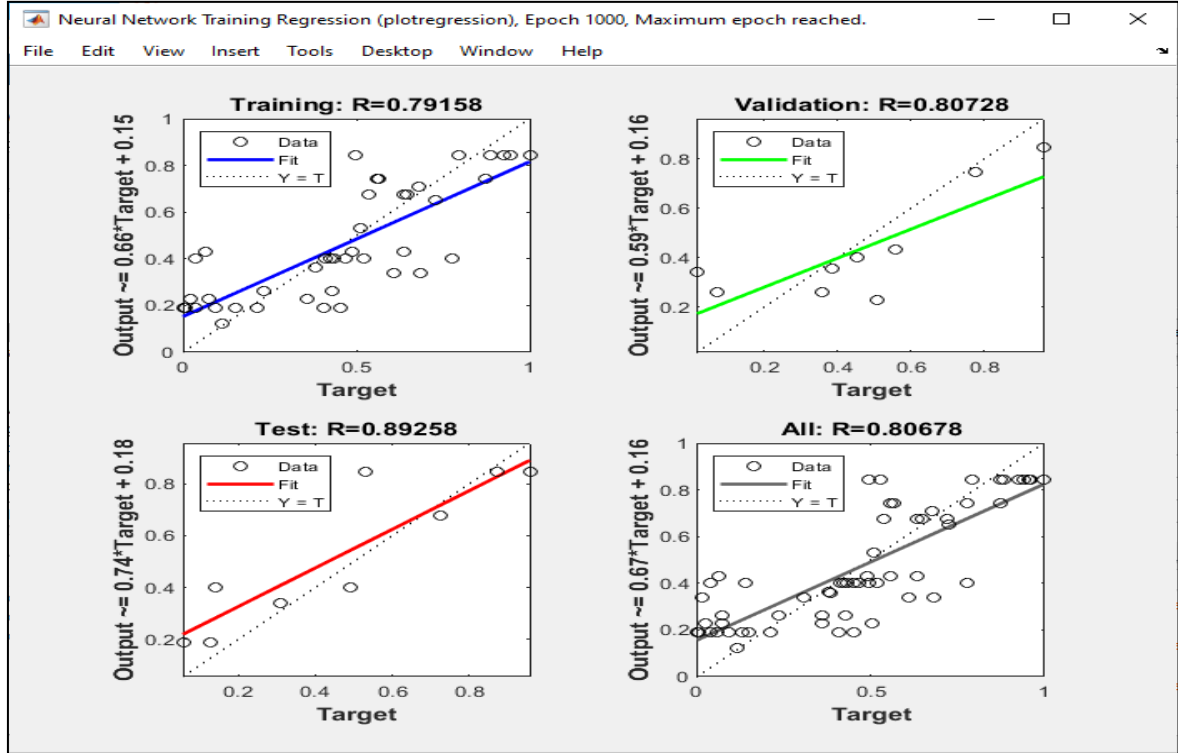


Şekil 5.7. Model-7 katı madde ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki grafiği ve R_7 değeri.

R_7 değeri 0'a çok yakın olduğu için determinasyon katsayısını da doğrudan etkilemiştir ve Model-7'de bağımsız değişkenler biyogaz üretiminin yaklaşık %3.7 oranında açıklayabilmektedir.

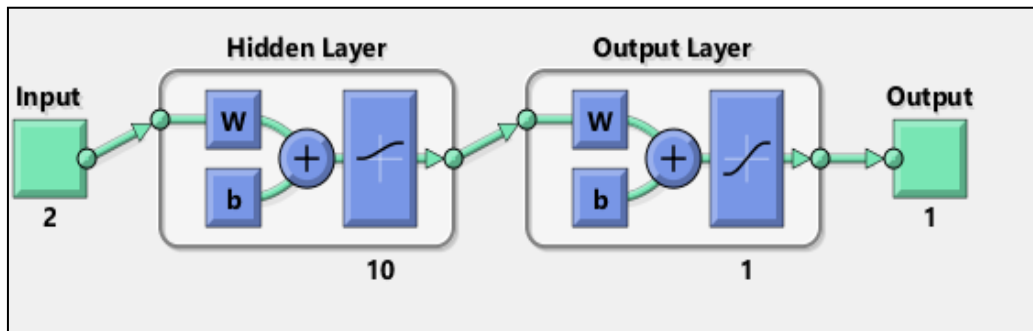


Şekil 5.8. Model-7 katı madde oranının ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişkisini içeren yapay sinir ağı ve katmanları genel görünümü



Şekil 5.9. Model-8 bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişki grafiği ve R_8 değeri.

Model-8 için R_8 değeri 1'e yakın olduğu için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır ve bu değer determinasyon katsayısını doğrudan etkilediğinden önemlidir. Şekil 5.9'da görüldüğü gibi Model-8 için determinasyon katsayısı yaklaşık 0.67 olarak hesaplanmıştır. Bağımsız değişkenlerce biyogazın bağımlı değişkeni yaklaşık %67 oranında açıklanabilmektedir.



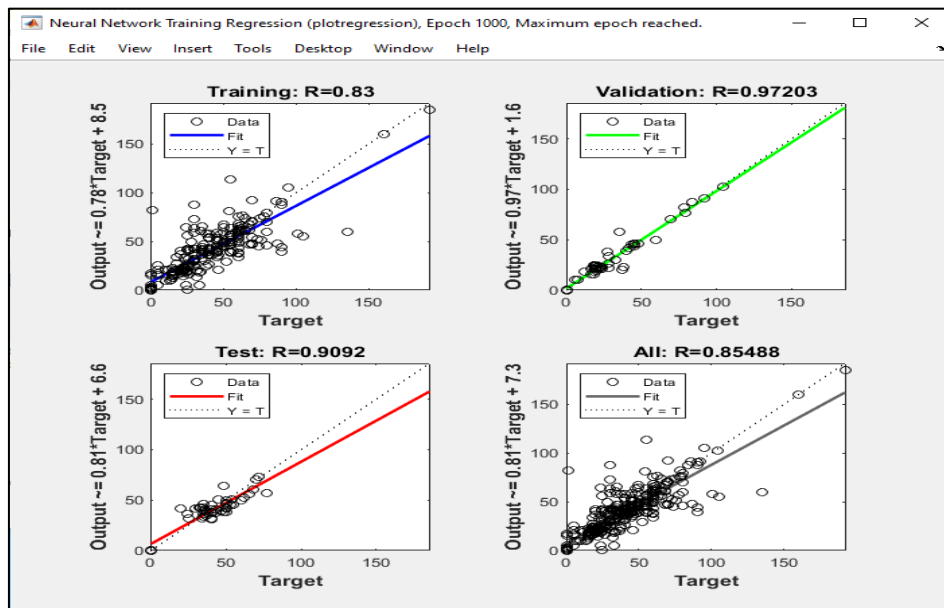
Şekil 5.10. Model-8 bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin, bağımlı değişken olan biyogaz ile arasındaki ilişkisini içeren yapay sinir ağı ve katmanları genel görünümü

EK-4'te verilen bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin biyogaz bağımlı değişkeni ile olan ilişkisi incelenmiştir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunu kullanmak için bağımsız ve bağımlı değişkenlerinin normalize edilmiş değerleri kullanılmıştır. Model-9 değerini belirten R_9 değeri 0.99 bulunmasına rağmen validasyon ve test değerleri hesaplanamadığı için R_9 değeri göz ardı edilmiştir. Bu durum literatürde aşırı öğrenme diğer adıyla overfitting durumudur. Veri setinin algoritmanın kendisine verilen veri setinin yapısını çok iyi düzeyde öğrenip hatta ezberleyip görmediği yeni veri setleri üzerinde tahmin yapmak istendiğinde başarısız olma durumudur.

Bir diğer deyişle, veriyi test ve train olarak 2'ye ayırılır. Algoritma eğitim setini çok iyi öğrenmektedir. Ancak görmediği veri setiyle modeli tahmin etmeye çalıştığımızda tahmin performansı düşmeye başlamaktadır. Bu duruma aşırı öğrenme (overfitting) olarak isimlendirilir.

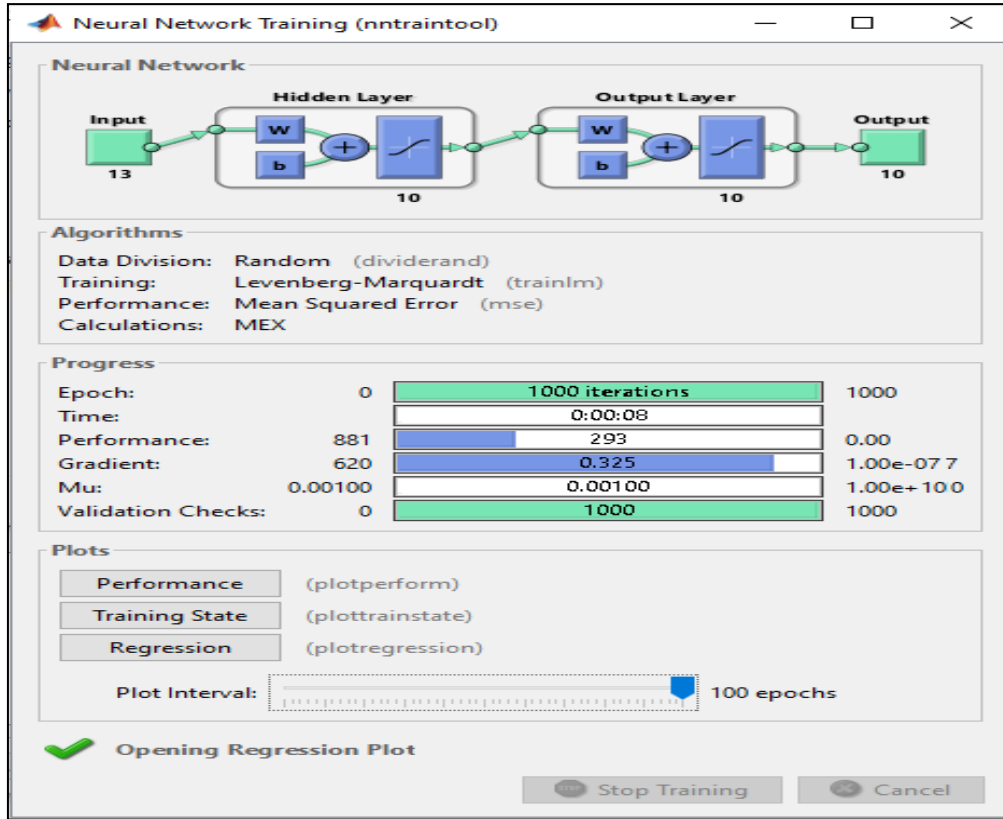
Yapılan modellemeler, anaerobik fermentasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden elde edilmiş biyogaz verileri ile karşılaştırılmıştır. İlgili değerler EK-5'te gösterilmiştir (Akhmetov, N., Ar, İ. 2019).

Şekil 5.11'de bekleme süresi, sıcaklık, katı madde oranı ve pH bağımsız girdi değişkenlerinin biyogaz bağımlı değişkeni ile olan ilişkisi Model-10'da (inek, at ve deve gübrelerinin farklı karışımlarından elde edilmiş) gösterilmiştir.

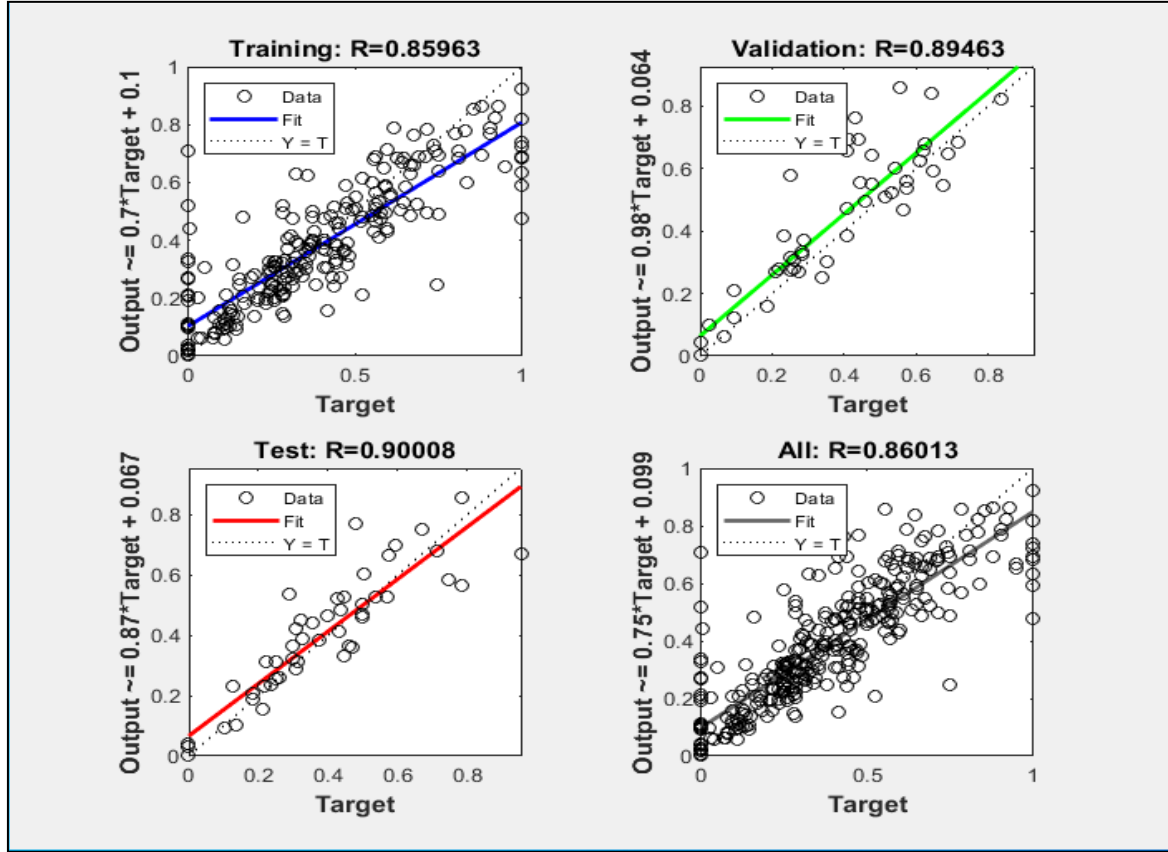


Şekil 5.11. Model-10 ve R_{10} değeri

R_{10} korelasyon değeri 0.85 bulunmuştur, pozitif ve 1'e yakın olduğu için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki güçlüdür. R_{10} değerinin karesi bizlere açıklayıcı varyans diğer adıyla determinasyon katsayısını vermektedir. Şekil 5.11'de görüldüğü gibi R_{10} değeri için determinasyon katsayısı yapay sinir ağlarına göre yaklaşık 0.81'dir. Yani Model-10'un bağımsız değişkenleri biyogaz bağımlı değişkenini yaklaşık %81 oranında açıklamaktadır.



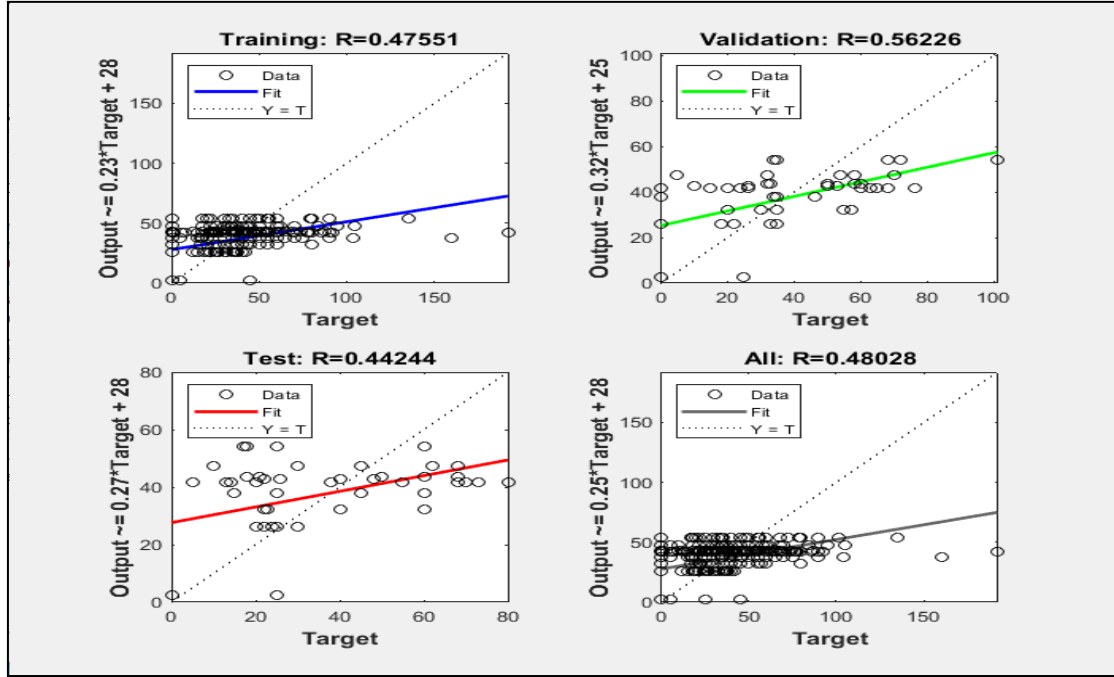
Şekil 5.12. R_{10} değerlerini oluşturan yapay sinir ağı genel görünümü



Şekil 5.13. EK-5 normalize değerleri kullanılarak bekleme süresi bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki Model-11’de R_{11} olarak gösterilmiştir.

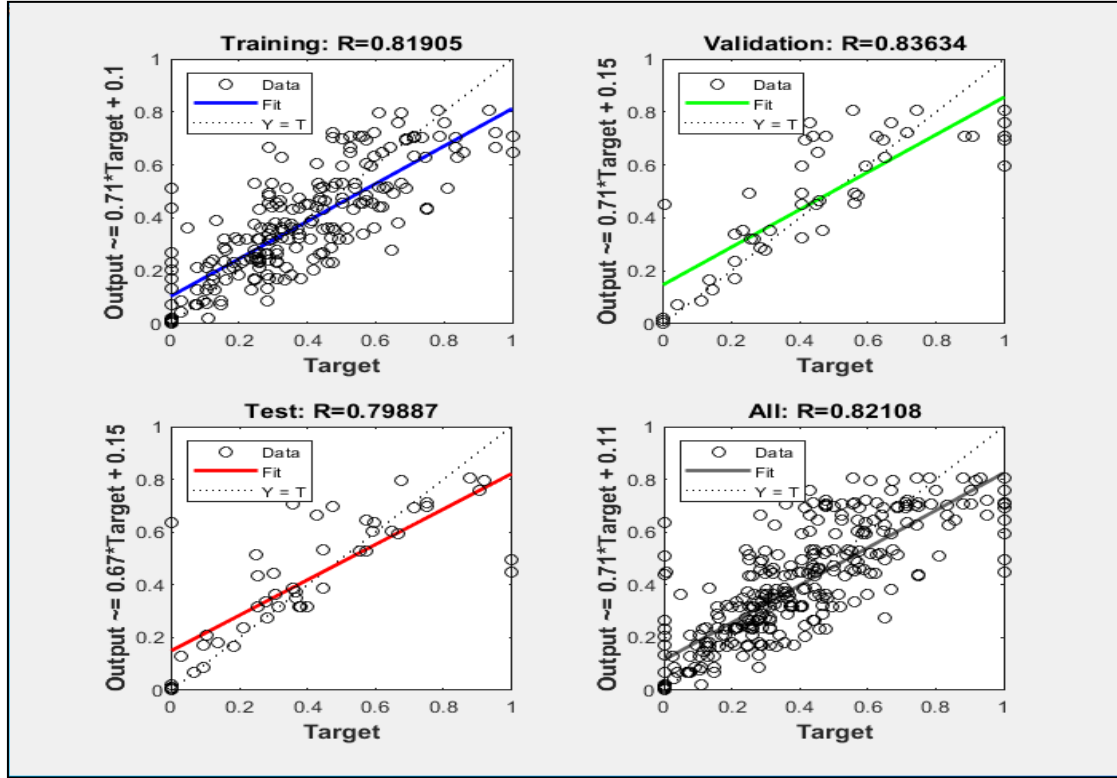
R_{11} korelasyon değeri 0.86 bulunmuştur, pozitifdir ve 1’e yakın olduğu için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki güçlüdür. R_{11} değerinin karesi bizlere açıklayıcı varyans diğer adıyla determinasyon katsayısını vermektedir. Şekil 5.13’de görüldüğü gibi R_{11} değeri için determinasyon katsayısı 0.75’tir. Yani Model-11’un bağımsız değişkenleri biyogaz bağımlı değişkenini yaklaşık %75 oranında açıklamaktadır.

Şekil 5.14. EK-5 normalize değerleri kullanılarak katı madde oranı bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki Model-12’de R_{12} olarak gösterilmiştir. Model-12 için R_{12} değeri 0.48 olarak bulunmuştur ve Model-12 bağımsız ve bağımlı değişkenlerinin ilişkisi pozitif yönlüdür. Determinasyon katsayısı ise yaklaşık 0.25 bulunmuştur. Dolayısıyla Model-12 için biyogaz bağımlı değişkeninin bağımsız değişkenlerce açıklanabilme oranı yaklaşık %25’tir.



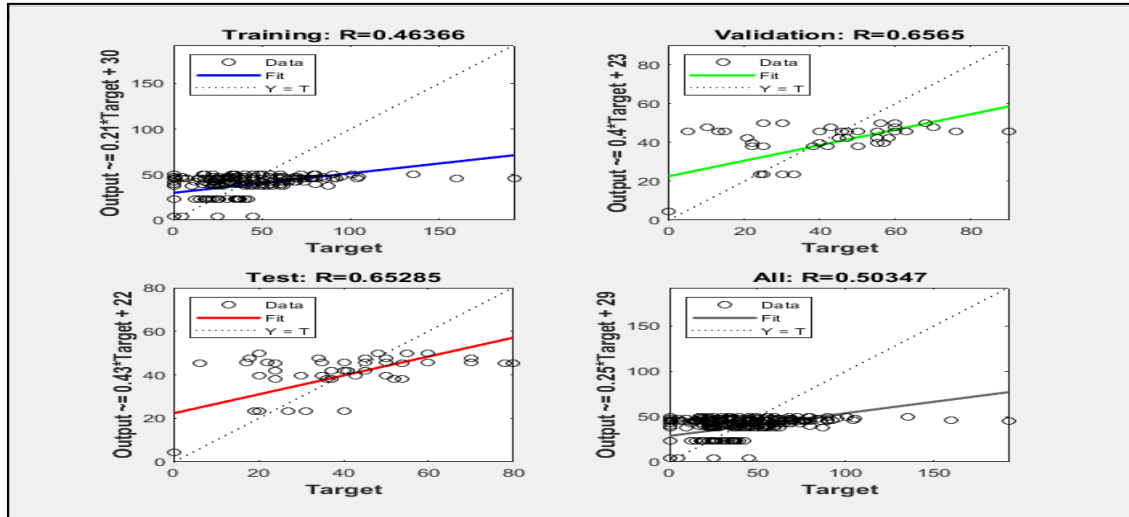
Şekil 5.14. EK-5 normalize değerleri kullanılarak katı madde oranı bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki

Şekil 5.15. EK-5 normalize değerleri kullanılarak pH bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki Model-13'te R_{13} olarak gösterilmiştir ve değeri 0.82 olarak bulunmuştur. Bu değer bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olduğunu ve 1'e yakın olması sebebi ile determinasyon katsayısını etkilediği için bağımsız değişkenlerin güçlü bir açıklanabilirlik oranına sahip olduğunu göstermektedir. Bu oran yaklaşık olarak %71 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.15. EK-5 normalize değerleri kullanılarak pH bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki.

Şekil 5.16. EK-5 normalize değerleri kullanılarak sıcaklık bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki Model-14'te R_{14} olarak gösterilmiştir. R_{14} değeri 0.50 olarak bulunmuştur. Bu rakam bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olduğunu göstermektedir. Determinasyon katsayısı ise R_{14} 'e bağlı olarak yaklaşık 0.25 bulunmuştur ve bu rakam 1'e yakın olmadığı için düşük bir açıklanabilirliği temsil etmektedir. Model-14 için bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri açıklama yüzdesi yaklaşık %25'tir.



Şekil 5.16. EK-5 normalize değerleri kullanılarak sıcaklık bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki Model-14'te R_{14} olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Her bir modele ait bağımsız değişkenler, bağımlı değişkenler.

Model No	Bağımsız Değişkenler	Bağımlı Değişkenler	Kaynak Tablo
1	Bekleme Süresi	Biyogaz	EK-1
2	Bekleme Süresi, Sıcaklık, Katı Madde Oranı	Biyogaz	EK-1
3	Overfitting	Overfitting	EK-2
4	Overfitting	Overfitting	EK-2
5	Katı Madde Oranı	Biyogaz	EK-3
6	Katı Madde Oranı, Bekleme Süresi	Biyogaz	EK-3
6.1	Bekleme Süresi	Biyogaz	EK-3
6.2	Sıcaklık	Biyogaz	EK-3
7	Katı Madde Oranı, Sıcaklık	Biyogaz	EK-3
8	Bekleme Süresi, Sıcaklık	Biyogaz	EK-3
9	Overfitting	Overfitting	EK-4
10	Bekleme Süresi, Sıcaklık, Katı Madde Oranı, pH	Biyogaz	EK-5
11	Bekleme Süresi	Biyogaz	EK-5
12	Katı Madde Oranı	Biyogaz	EK-5
13	pH	Biyogaz	EK-5
14	Sıcaklık	Biyogaz	EK-5

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, biyogaz üretmek amacıyla yemek, meyve ve sebze atıklarının substrat olarak kullanıldığı çalışmalarda elde edilmiş veriler literatürden alınarak biyogaza etki eden katı madde oranı, bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin biyogaz verimi ile olan ilişkileri yapay sinir ağları yöntemi ile incelenmiştir.

Biyogaz üretimi için tek kademeli anaerobik sistemde, hammadde olarak rendeden geçirilmiş havuç, patates, muz, kıyma, peynir, krema, armut, elma ve tavuk kullanılarak yapılmış deneysel çalışmada (EK-1) bekleme süresi ile biyogaz arasındaki ilişki yapay sinir ağları ile incelenmiştir. Model-1’de bu ilişkinin sonucu olarak R1 değeri (korelasyon katsayısı) 0,50 olarak bulunmuştur. ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. R değerinin karesi açıklanan varyans yani determinasyon katsayısını vermektedir. Model-1’e ait ilgili denklemler Resim 1.10.’ da gösterilmiştir. $Output = 0.31 * Target + 0.2$ denklemi dikkate alındığında Model-1’de bekleme süresi, biyogaz verilerinin yaklaşık %31’ini açıklamaktadır. Aynı deneysel veriler kullanılarak bekleme süresi, sıcaklık ve katı madde oranı ile biyogaz arasındaki ilişki incelendiğinde ise Model-2 olan R2 değeri 0.47 olarak bulunmuştur ve bu değer bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında pozitif yönlü bir ilişki olduğunu göstermektedir $Output = 0.23 * Target + 3.5e + 0.2$ denklemine göre determinasyon katsayısı 0.23’tür. Bekleme süresi, katı madde oranı ve sıcaklık bağımsız değişkenleri biyogaz verilerinin yaklaşık %23 oranında açıklamaktadır.

Diyarbakır ili sebze ve meyve atıklarından biyogaz potansiyelinin araştırılması çalışmasına ilişkin veriler (EK-2) Model-3 ve Model-4 için kullanılmıştır. İlgili deneysel çalışma esas alınarak öncelikle bekleme süresi ve biyogaz arasındaki ilişki (R3), daha sonra bekleme süresi ile sıcaklık bağımsız değişkenlerinin biyogaz ile olan ilişkisi (R4) incelenmiştir. R3 ve R4 değerleri 0,99 bulunmasına rağmen test ve validasyon değerleri her 2 modelde de hata verdiği için bu değerler dikkate alınmamıştır. Bu durum literatürde aşırı öğrenme diğer adıyla overfitting durumudur. Veri setinin algoritmanın kendisine verilen veri setinin yapısını çok iyi düzeyde öğrenip hatta ezberleyip görmediği yeni veri setleri üzerinde tahmin yapmak istendiğinde başarısız olma durumudur.

Bir diğerk deyişle, veriyi test ve train olarak 2'ye ayrılır. Algoritma eğitim setini çok iyi öğrenmektedir. Ancak görmediğı veri setiyle modeli tahmin etmeye çalıştığımızda tahmin performansı düşmeye başlamaktadır. Bu duruma aşırı öğrenme (overfitting) denmektedir.

Model-5 için EK-3'te belirtilen çalışmadaki yemek atıkları numunelerinden elde edilmiş verilere dayanarak katı madde oranı ve biyogaz parametreleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Model-5'i için korelasyon katsayısı olan R5 değeri 0,04 olarak bulunmuştur ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki pozitif yönlüdür. Output-Target denkleminde bakıldığında R5 değerinin karesi (0.006) ve temsil yüzdesi neredeyse yok denecek kadar azdır. Bu sebeple katı madde oranının biyogaz verilerini açıklayabilme ilişkisi çok düşük bulunmuştur (Yaklaşık %1). Aynı deneysel verilere dayanarak bekleme süresi ve katı madde oranı bağımsız değişkenlerinin biyogaz ile olan ilişkisi incelenmiştir. Model-6 olarak isimlendirilen ve Model-6'daki bu ilişkinin korelasyon katsayısını temsil eden R6 değeri 0,87 bulunmuştur, bu ilişki pozitif yönlüdür ve bu değer 1'e yakın olduğu için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında güçlü bir ilişki vardır. R6 değerinin karesi bizlere açıklanan varyans yani determinasyon katsayısı olan R2 değerini vermektedir. R6 değeri için R2 değeri yaklaşık 0,77 olarak bulunmuştur. Yani bu Model-6 bağımsız değişkenleri biyogaz bağımlı değişkeninin yaklaşık %77'sini açıklayabilmektedir. Model-6.1'de, Model-6'ya uygulanan bütün işlemler Model-6.1'de uygulanmıştır. Model-6.1'de ki fark bağımsız değişkenlerde sadece bekleme süresi olmasıdır. Yani Model-6.1'de sadece bekleme süresi ile biyogaz üretimi arasındaki ilişki incelenmiştir. R6.1 değeri 0.78 bulunmuştur. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında 1'e yakın olduğu için güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Model-6.1 için R2 değeri yaklaşık 0.6'dır ve bekleme süresi, biyogaz üretim miktarını yaklaşık %60 oranında açıklamaktadır. Yine bu çalışmanın verilerine dayanarak (EK-3), Model-7'de katı madde ve sıcaklık bağımsız değişkenlerinin biyogaz ile olan ilişkisi incelenmiştir. Model-7'yi temsil eden R7 değeri yaklaşık 0.16 bulunmuştur. R7 değeri 0'a çok yakın olduğu için determinasyon katsayısını da doğrudan etkilemiştir ve Model-7'de bağımsız değişkenler biyogaz üretiminin yaklaşık %3.7 oranında açıklayabilmiştir. EK-3 verilerine dayanarak bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız değişken parametrelerinin biyogaz ile olan ilişkisi Model-8 olarak yapay sinir ağlarında incelenmiştir. Model-8'de bu ilişkiyi temsil eden R8 değeri yaklaşık 0.81 bulunmuştur. Model-8 için R8 değeri 1'e yakın olduğu için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır ve bu değer determinasyon katsayısını doğrudan etkilediğinden önemlidir. Resim 1.18'de görüldüğü gibi Model-8 için determinasyon

katsayısı yaklaşık 0.67 olarak hesaplanmıştır. Bağımsız değişkenlerce biyogazın bağımlı değişkeni yaklaşık %67 oranında açıklanabilmektedir.

Model-9 için EK-4'te değerleri içeren hammaddesi meyve ve sebzeler olan çalışma baz alınmıştır ve bağımsız girdi değişkenleri bekleme süresi ve sıcaklıktır. Bekleme süresi ve sıcaklık parametrelerinin biyogaz ile olan ilişkisi R⁹'da 0.99 bulunmasına rağmen Model-3 ve Model-4'te ki aşırı öğrenme (overfitting) problemi meydana geldiği için Model-9 dikkate alınmamıştır.

Yemek, sebze ve meyve atıklarını ve bunlardan elde edilen biyogaz üretimini baz alarak yapılan 10 model, biyogaz eldesi için hammaddesi at, deve ve inek gübresi olan EK-5'teki çalışma ile kıyaslanmıştır. EK-5'te ki çalışma kıyas öncesi kendi içerisindeki parametreler kullanılarak modellenmiştir.

Hammaddesi at, deve ve inek gübresi olan EK-5'teki çalışma baz alınarak Model-10'da bekleme süresi, sıcaklık, katı madde oranı ve pH bağımsız girdi parametrelerinin biyogaz ile olan ilişkisi incelenmiştir. R₁₀ korelasyon değeri 0.85 bulunmuştur, pozitif ve 1'e yakın olduğu için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki güçlüdür. R₁₀ değerinin karesi bizlere açıklayıcı varyans diğer adıyla determinasyon katsayısını vermektedir. R₁₀ değeri için determinasyon katsayısı yapay sinir ağlarına göre yaklaşık 0.81'dir. Yani Model-10'un bağımsız değişkenleri biyogaz bağımlı değişkenini yaklaşık %81 oranında açıklamaktadır.

EK-5'teki değerler kullanılarak bekleme süresi bağımsız girdi değişkeni ile biyogaz arasındaki ilişki Model-11'de R₁₁ korelasyon değeri 0.86 bulunmuştur, pozitif ve 1'e yakın olduğu için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki güçlüdür. R₁₁ değerinin karesi bizlere açıklayıcı varyans diğer adıyla determinasyon katsayısını vermektedir. R₁₁ değeri için determinasyon katsayısı 0.75'tir. Yani Model-11'un bağımsız değişkenleri biyogaz bağımlı değişkenini yaklaşık %75 oranında açıklamaktadır.

Yine aynı çalışmada katı madde oranı bağımsız girdi değişkeni ile biyogaz arasındaki ilişki Model-12'de incelenmiştir ve R₁₂ değeri 0,48 olarak bulunmuştur. Model-12 bağımsız ve bağımlı değişkenlerinin ilişkisi pozitif yönlüdür. Determinasyon katsayısı ise yaklaşık 0.25

bulunmuştur. Dolayısıyla Model-12 için biyogaz bağımlı değişkeninin bağımsız değişkenlerce açıklanabilme oranı yaklaşık %25'tir.

EK-5 normalize değerleri kullanılarak pH bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki Model-13'te R13 olarak gösterilmiştir ve değeri 0.82 olarak bulunmuştur. Bu değer bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olduğunu ve 1'e yakın olması sebebi ile determinasyon katsayısını etkilediği için bağımsız değişkenlerin güçlü bir açıklanabilirlik oranına sahip olduğunu göstermektedir. Bu oran yaklaşık olarak %71 olarak bulunmuştur.

EK-5 normalize değerleri kullanılarak sıcaklık bağımsız değişkeni ile biyogaz bağımlı değişkeni arasındaki ilişki Model-14'te R14 olarak gösterilmiştir. R14 değeri 0.50 olarak bulunmuştur. Bu rakam bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin pozitif yönlü olduğunu göstermektedir. Determinasyon katsayısı ise R14'e bağlı olarak yaklaşık 0.25 bulunmuştur ve bu rakam 1'e yakın olmadığı için düşük bir açıklanabilirliği temsil etmektedir. Model-14 için bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenleri açıklama yüzdesi yaklaşık %25'tir.

Biyogaz eldesi için yapılmış, hammaddesi yemek atıkları, sebze ve meyve atıkları olan önceki çalışmaların verileri kullanılarak bekleme süresi, sıcaklık ve katı madde oranı parametrelerinin biyogaz ile olan ilişkisi yapay sinir ağları kullanılarak 10 farklı modelde incelenmiştir. Hammaddesi yemek atıkları olan Model-6, bekleme süresi ve katı madde oranı bağımsız girdi değişkenlerinin biyogaz ile olan ilişkisini belirten bir model olarak $R6 = 0.87$ değeri ile en iyi sonuç veren model olmuştur. R6 değeri için R2 değeri yaklaşık 0,77 olarak bulunmuştur. Yani bu Model-6 bağımsız değişkenleri biyogaz bağımlı değişkeninin yaklaşık %77'sini açıklayabilmektedir. Model-6.1'de ise Model-6'e uygulanan aynı işlemler kullanılmıştır. Model-6.1'in bağımsız girdi değişkeni sadece bekleme süresidir ve bekleme süresi tek başına biyogaz üretimini yaklaşık %60 oranında açıklamaktadır. Model-6'dan sonra en iyi sonuç veren model ise bekleme süresi ve sıcaklık bağımsız girdi parametrelerini içeren hammaddesi yemek atıkları olan Model-8'dir ve değeri $R8 = 0.81$ 'dir. Model-8 bağımsız değişkenleri biyogaz üretimini yaklaşık %67 oranında açıklamaktadır. At, deve ve inek gübrelerinden elde edilmiş biyogazın bağımsız girdi değişkenlerinde ise en iyi sonucu bekleme süresi, sıcaklık, katı madde oranı ve pH ile biyogaz arasındaki ilişkiyi açıklayan $R10 = 0,86$ değeri ve yaklaşık %81 açıklanabilirlik oranı ile Model-10

vermiştir. Model-10'dan sonra ise en iyi sonucu ise bekleme süresi bağımsız girdi değişkeni ile biyogaz bağımlı girdi değişkenlerini içeren Model-11 vermiştir ve değeri $R_{11} = 0,85$ 'tir. $R_{11} = 0,85$ korelasyon değeri esas alınarak Model-11'de bağımsız değişken olan bekleme süresinin biyogaz üretimini açıklama oranı yaklaşık %75'tir. Yemek atıkları, sebze ve meyve atıklarından elde edilen biyogaza etki eden parametreler ile at, deve ve inek gübresinden elde edilen biyogaza etki eden parametreler kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucu her iki farklı hammaddelerden biyogaz eldesinde, bekleme süresi parametresinin en çok etki eden parametre olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışma, bundan sonraki yemek atıkları, sebze ve meyve atıkları kullanılarak biyogaz eldesi ve optimizasyonu için yapılacak çalışmalarda bekleme süresi parametresinin biyogaz için ne derecede önemli olduğunu ve ileriye optimizasyon çalışmalarında faydalı olabileceğini yapay sinir ağları kullanılarak ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- Abbasi, T., Tauseef, S. M. & Abbasi, S. A. (2012). A brief history of anaerobic digestion and “biogas”. *Biogas Energy*, 2, 11-23.
- Abdulkarim, B. I. & Abdullahi, M. E. (2010). Effect of buffer (NaHCO₃) and waste type in high solid thermophilic anaerobic digestion. *International Journal of ChemTech Research*, 2(2), 980-984.
- Ağayev E. (2011). *At Gübresinden Biyogaz Üretiminin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-6.
- Akhmetov, N. and Ar, İ. (2019). Biogas Production from Cow, Horse and Camel Manures with Different Mixture Rates by Anaerobic Fermentation. *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 12, 19-29.
- Akman, H. E. (2019). *Dallı darıdan üretilebilecek metan miktarının artırılması için ön işlem ve tavuk gübresi ile ko-fermantasyonunun incelenmesi*. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 79-80.
- Aljbour, S. H., El-Hasan, T., Al-Hamiedeh, H., Hayek, B. & Abu-Samhadaneh, K. (2021). Anaerobic co-digestion of domestic sewage sludge and food waste for biogas production: A decentralized integrated management of sludge in Jordan. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 56(5), 1030-1038.
- Altınbaş, M. & Kasarcı, A. O. (2018). Yemek Atığı ve İnek Dışkısı Karışımından İki Kademeli Anaerobik Sistem ile Biyoenerji Üretimi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9(1), 483-492.
- Ambaye, T. G., Rene, E. R., Nizami, A. S., Dupont, C., Vaccari, M. & van Hullebusch, E. D. (2021). Beneficial role of biochar addition on the anaerobic digestion of food waste: A systematic and critical review of the operational parameters and mechanisms. *Journal of Environmental Management*, 290, 2-11.
- Ardıç İ., Taner, F. & Çiftlikköy M. (2005, 19-21 Ekim). *Biyokütleden Biyogaz Üretimi: Anaerobik Arıtımın Temelleri*. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Mersin, 19-21.
- Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F. & Lens, P. N. (2014). Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste. *Applied energy*, 123, 144.
- Banks, C. J., Chesshire, M. and Stringfellow, A. (2008). A pilot-scale comparison of mesophilic and thermophilic digestion of source segregated domestic food waste. *Water science and technology*, 58(7), 1475-1481.
- Baştan Töke, L. (2020). *Kompost ve biyogaz tesislerinde veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü*. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya, 88.

- Battista, F., Frison, N. & Bolzonella, D. (2021). Can bioplastics be treated in conventional anaerobic digesters for food waste treatment. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 1.
- Bouallagui, H., Cheikh, R. B., Marouani, L. & Hamdi, M. (2003). Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. *Bioresource technology*, 86(1), 85-89.
- Chen, C., Chaudhary, A. & Mathys, A. (2020). Nutritional and environmental losses embedded in global food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 160, 1.
- Çakmak K, E. (2019). *Enzimatik Ön Arıtım ile Mikroalglerden Biyogaz Üretiminin Arttırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 17-18
- Dadaser-Celik, F. & GARAN, S. (2018). Yemek Atıklarından Mezofilik ve Termofilik Şartlarda Metan Gazı Üretim Düzeylerinin Araştırılması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 428-432.
- Dahiya, S., Kumar, A. N., Sravan, J. S., Chatterjee, S., Sarkar, O. & Mohan, S. V. (2018). Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, 248, 2-12.
- de Oliveira, L. R. G., dos Santos Filho, D. A., Fraga, T. J. M., Jucá, J. F. T. & da Motta Sobrinho, M. A. (2021). Kinetics assessment and modeling of biogas production by anaerobic digestion of food wastes and acclimated sewage sludge. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(4), 1-11.
- Deepanraj, B., Sivasubramanian, V. & Jayaraj, S. (2014). Biogas generation through anaerobic digestion process-an overview. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 18(5), 88.
- Değirmenci, S. (2019). *Yemekhane atıklarının mevcut durumunun belirlenmesi ve faydalı kullanımı için model geliştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 34.
- Demirbaş, N. (2018, 21-22 Nisan). *Dünyada ve Türkiye’de gıda israfını önleme çalışmalarının değerlendirilmesi*. VIII. IBANESS Kongreler Serisi, Plovdiv, Bulgaristan, 524.
- Deviren, H, İlkılıç, C, Aydın, S. (2017). Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller ve Biyogazın Kullanım Alanları. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2), 81.
- Elitaş, M. N. T. & Ersöz, F. (2021). Investigation the Biomass in OECD Countries and Turkey: Comparative Analysis with Classification Algorithms. *El-Cezeri*, 8(3), 1179-1180.
- Fernández-Rodríguez, J., Pérez, M. & Romero, L. I. (2014). Dry thermophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid wastes: Solid retention time optimization. *Chemical Engineering Journal*, 251, 435–440.

- Gao, M., Zou, H., Tian, W., Shi, D., Chai, H., Gu, L. and Tang, W. Z. (2021). Co-digestive performance of food waste and hydrothermal pretreated corn cob. *Science of The Total Environment*, 768, 1.
- Gülen, J. & ÇEŞMELİ, Ç. (2012). Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünlerinin Kullanım Alanları. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 65-84.
- Günel A. (2017). *Atıksu Arıtma Tesislerinde Biyogaz ve Hidroelektrik Enerjiden Elektrik Üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 19.
- Hagos, K., Zong, J., Li, D., Liu, C. & Lu, X. (2017). Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1485-1496.
- Hassan, G. K., Jones, R. J., Massanet-Nicolau, J., Dinsdale, R., Abo-Aly, M. M., El-Gohary, F. A. & Guwy, A. (2021). Increasing 2-Bio-(H₂ and CH₄) production from food waste by combining two-stage anaerobic digestion and electrodialysis for continuous volatile fatty acids removal. *Waste Management*, 129, 20-25.
- Hou, T., Zhao, J., Lei, Z., Shimizu, K. & Zhang, Z. (2021). Enhanced energy recovery via separate hydrogen and methane production from two-stage anaerobic digestion of food waste with nanobubble water supplementation. *Science of The Total Environment*, 761, 8.
- Jellali, S., Charabi, Y., Usman, M., Al-Badi, A. & Jeguirim, M. (2021). Investigations on Biogas Recovery from Anaerobic Digestion of Raw Sludge and Its Mixture with Agri-Food Wastes: Application to the Largest Industrial Estate in Oman. *Sustainability*, 13(7), 1-20.
- Jensani, M. K. N., Sadikin, A. N., Ngadi, N., Azman, M. F., Ab Muis, Z. & Asli, U. A. (2021). Anaerobic Co-Digestion of Food Waste with Crude Glycerol for Biogas Production. *Chemical Engineering Transactions*, 83, 577-582.
- Junoh, H., Yip, C. H. & Kumaran, P. (2016). Effect on Ca (OH)₂ pretreatment to enhance biogas production of organic food waste. *In IOP conference series: earth and environmental science*, 32(1), 1.
- Karakaya, K. (2012). *Yapay zekâ modelleriyle tam ölçekli çamur çürütme reaktörlerinden elde edilen biyogaz üretiminin tahmini: Yapay sinir ağları ve fuzzy logic uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 62.
- Katajajuuri, J. M., Silvennoinen, K., Hartikainen, H., Heikkilä, L. & Reinikainen, A. (2014). Food waste in the Finnish food chain. *Journal of Cleaner Production*, 73, 322-329.
- Kazimierowicz, J., Dzienis, L., Dębowski, M. & Zieliński, M. (2021). Optimisation of methane fermentation as a valorisation method for food waste products. *Biomass and Bioenergy*, 144, 1.

- Khan, M. M. H., Akther, M. Y., Ahmed, J. & Joty, J. K. (2021). Biogas production from different categories of kitchen waste collected from residential hall of Sylhet Agricultural University. *International Journal of Natural Sciences*, 11(1), 23.
- Kılınç Şahin, S. & Bekar, A. (2018). Küresel Bir Sorun “Gıda Atıkları”: Otel İşletmelerindeki Boyutları. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 6(4), 1039-1061.
- Kızmaz, (2019) *Diyarbakır ili sebze ve meyve atıklarının biyogaz potansiyelinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 55,59,60,64,65.
- Kim, S., Mostafa, A., Im, S., Lee, M. K., Kang, S., Na, J. G. & Kim, D. H. (2021). Production of high-calorific biogas from food waste by integrating two approaches: Autogenerative high-pressure and hydrogen injection. *Water Research*, 194, 9.
- Koirala, N., Odey, E. A., Lu, Q., Iu, H. I., Lok, K. S. & Shim, H. (2021). Stimulatory effect of magnesium supplement on anaerobic co-digestion of food waste and domestic wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 1.
- Kothari, R., Pandey, A.K., Kumar, S., Tyagi, V.V., Tyagi, S.K. (2014). Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: an overview. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 39, 185.
- Lahbab, A., Djaafri, M., Kalloum, S., Benatallah, A., Atelge, M. R. & Atabani, A. E. (2021). Co-digestion of vegetable peel with cow dung without external inoculum for biogas production: Experimental and a new modelling test in a batch mode. *Fuel*, 306, 1.
- Leung, D. Y. & Wang, J. (2016). An overview on biogas generation from anaerobic digestion of food waste. *International Journal of Green Energy*, 13(2), 126.
- Li, Q., Li, H., Wang, G., and Wang, X. (2017). Effects of loading rate and temperature on anaerobic co-digestion of food waste and waste activated sludge in a high frequency feeding system, looking in particular at stability and efficiency. *Bioresour technology*, 237, 231-239.
- Liu, C., Hotta, Y., Santo, A., Hengesbaugh, M., Watabe, A., Totoki, Y. & Bengtsson, M. (2016). Food waste in Japan: trends, current practices and key challenges. *Journal of Cleaner Production*, 133, 557-564.
- Luz, F. C., Volpe, M. & Messineo, A. (2021, 30 March). *Characterization of Italian food waste bio-methane potential evaluation via anaerobic digestion*. In AIP Conference Proceedings, 2343(1), USA, 1-4.
- Mahnert P, Heiermann M and Linke B. (2005). Batch- and semi-continuous production from different grass species. *International Commission of Agricultural Engineering*, 7, 1.
- Maroušek, J., Strunecký, O., Kolář, L., Vochozka, M., Kopecký, M., Maroušková, A. & Cera, E. (2020). Advances in nutrient management make it possible to accelerate

- biogas production and thus improve the economy of food waste processing. *Energy sources*, 42, 1-10.
- Martin, K. (2017). *Biyogaz üretiminde farklı ön arıtma işlemleri uygulanmış muz atıklarının biyokimyasal metan potansiyelinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 74.
- Mata-Alvarez, J., Macé, S., Llabrés, P., (2000). Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Biosource Technology*, 74, 9.
- Mehariya, S., Patel, A. K., Obulisamy, P. K., Punniyakotti, E. & Wong, J. W. (2018). Co-digestion of food waste and sewage sludge for methane production: Current status and perspective. *Bioresource technology*, 265, 519-531.
- Meng, Y., Luan, F., Yuan, H., Chen, X. & Li, X. (2017). Enhancing anaerobic digestion performance of crude lipid in food waste by enzymatic pretreatment. *Bioresource technology*, 224, 48-55.
- Mirmohamadsadeghi, S., Karimi, K., Tabatabaei, M. & Aghbashlo, M. (2019). Biogas production from food wastes: A review on recent developments and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, 7, 1.
- Mo, W. Y., Man, Y. B. & Wong, M. H. (2018). Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: Needs and challenge. *Science of the Total Environment*, 613, 635-643.
- Muhammad, M. B. & Chandra, R. (2021). Enhancing biogas and methane production from leaf litter of neem by co-digestion with vegetable waste: Focus on the effect of tannin. *Biomass and Bioenergy*, 147, 6.
- Neto, J. G., Ozorio, L. V., de Abreu, T. C. C., dos Santos, B. F. & Pradelle, F. (2021). Modeling of biogas production from food, fruits and vegetables wastes using artificial neural network (ANN). *Fuel*, 285, 1-2.
- Nsair, A., Onen Cinar, S., Alassali, A., Abu Qdais, H., and Kuchta, K. (2020). Operational parameters of biogas plants: A review and evaluation study. *Energies*, 13(15), 10.
- Okoro-Shekwaga, C. K., Ross, A. & Camargo-Valero, M. A. (2021). Enhancing bioenergy production from food waste by in situ biomethanation: Effect of the hydrogen injection point. *Food and Energy Security*, 10(3), 12.
- Ormaechea, P., Castrillón, L., Marañón, E., Fernández-Nava, Y., Negral, L. & Megido, L. (2017). Influence of the ultrasound pretreatment on anaerobic digestion of cattle manure, food waste and crude glycerine. *Environmental Technology*, 38(6), 682-686.
- Özince, N. (2019). *Atıksu arıtma tesisi çürütücü ünitesi biyogaz üretim tahmin sistemi*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 52.
- Plude, S. & Demirer, G. N. (2021). Valorization of harmful algal blooms and food waste as bio-methane. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 40(2), 1-2.

- Pramanik, S. K., Suja, F. B., Zain, S. M., and Pramanik, B. K. (2019). The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: Prospects and constraints. *Bioresource Technology Reports*, 8, 3.
- Qin, S., Wainaina, S., Liu, H., Soufiani, A. M., Pandey, A., Zhang, Z. & Taherzadeh, M. J. (2021). Microbial dynamics during anaerobic digestion of sewage sludge combined with food waste at high organic loading rates in immersed membrane bioreactors. *Fuel*, 303, 9.
- Quashie, F. K., Fang, A., Wei, L., Kabutey, F. T. & Xing, D. (2021). Prediction of biogas production from food waste in a continuous stirred microbial electrolysis cell (CSMEC) with backpropagation artificial neural network. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-12.
- Quashie, F. K., Feng, K., Fang, A., Agorinya, S., Antwi, P., Kabutey, F. T. & Xing, D. (2021). Efficiency and key functional genera responsible for simultaneous methanation and bioelectricity generation within a continuous stirred microbial electrolysis cell (CSMEC) treating food waste. *Science of The Total Environment*, 757, 8.
- Saha, S., Jeon, B. H., Kurade, M. B., Jadhav, S. B., Chatterjee, P. K., Chang, S. W. & Kim, S. J. (2018). Optimization of dilute acetic acid pretreatment of mixed fruit waste for increased methane production. *Journal of Cleaner Production*, 190, 411-421.
- Shi, X., Guo, X., Zuo, J., Wang, Y. & Zhang, M. (2018). A comparative study of thermophilic and mesophilic anaerobic co-digestion of food waste and wheat straw: Process stability and microbial community structure shifts. *Waste Management*, 75, 261-269.
- Shi, Z., Zhang, L., Yuan, H., Li, X., Chang, Y. & Zuo, X. (2021). Oyster shells improve anaerobic dark fermentation performances of food waste: Hydrogen production, acidification performances, and microbial community characteristics. *Bioresource Technology*, 335, 8.
- Slobodkina, L. A., Akinshina, N. G. & Azizov, A. A. (2021). Anaerobic co-digestion of food wastes and chicken dung in lab-scale two-stage system. *Issues Biological Sciences. Pharmaceutical Research*, 9(1), 12-18.
- Song, Y., Meng, S., Chen, G., Yan, B., Zhang, Y., Tao, J., and Li, J. (2021). Co-digestion of garden waste, food waste, and tofu residue: Effects of mixing ratio on methane production and microbial community structure. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 8.
- Strazzera, G., Battista, F., Andreolli, M., Menini, M., Bolzonella, D. & Lampis, S. (2021). Influence of different household Food Wastes Fractions on Volatile Fatty Acids production by anaerobic fermentation. *Bioresource Technology*, 335, 9.
- Swinburn, B. A., Kraak, V. I., Allender, S., Atkins, V. J., Baker, P. I., Bogard, J. R., & Dietz, W. H. (2019). The global syndemic of obesity, undernutrition, and climate change: the Lancet Commission report. *The lancet*, 393(10173), 10.

- Szilágyi, Á., Bodor, A., Tolvai, N., Kovács, K. L., Bodai, L., Wirth, R. & Rákhely, G. (2021). A comparative analysis of biogas production from tomato bio-waste in mesophilic batch and continuous anaerobic digestion systems. *Plos One*, 16(3), 1.
- Şahin, M. (2019). Organik Atıkların Fermantasyonu Sonucu Elde Edilen Biyogazların Yanma Karakteristiklerinin İncelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 418-428.
- Şenol, H. (2020). Biogas potential of the black sea region from kitchen waste. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(7), 1.
- Şenol, H. (2019). Evsel Organik Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 132-142.
- Şenol, H., Elibol, E. A., AÇIKEL, Ü. & Şenol, M. (2017). Biyogaz üretimi için Ankara'nın başlıca organik atık kaynakları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 15-28.
- Tekiner, İ. H. T., Mercan, N. N., Kahraman, A. & ÖZEL Mervenur, Dünya ve Türkiye'de gıda israfı ve kaybına genel bir bakış. *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 26-31.
- Thompson, T. M., Young, B. R. & Baroutian, S. (2021). Enhancing biogas production from caribbean pelagic Sargassum utilising hydrothermal pretreatment and anaerobic co-digestion with food waste. *Chemosphere*, 275, 1.
- Torun, M. & Kurt, U. (2020). Determination of Appropriate Parameters for Estimating the Amount of Landfill Gas in Storage Sites. *Journal of New Results in Engineering and Natural Sciences*, 11, 1-7.
- Tunçel, S. (2017). *Büyükbaş Hayvan Gübresi ve Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretiminin Adm1 Kullanılarak Modellenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 64.
- Tüzüm, A. P. (2003). *Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 85-89.
- Uludağ, A. (2019). *Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 40-41.
- İnternet: United Nation, 2015. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development [WWW Document]. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E (accessed 09.26.21).
- Walczak, S. & Cerpa, N. (2003). Artificial Neural Networks. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 631–645.
- Wang, P., Li, X., Chu, S., Su, Y., Wu, D. & Xie, B. (2022). Metatranscriptomic insight into the effects of antibiotic exposure on performance during anaerobic co-digestion of food waste and sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127163.

- Wang, P., Zheng, Y., Lin, P., Li, J., Dong, H., Yu, H. and Ren, L. (2021). Effects of graphite, graphene, and graphene oxide on the anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste: attention to methane production and the fate of antibiotic resistance genes. *Bioresource Technology*, 339, 1.
- Xu, F., Li, Y., Ge, X., Yang, L. & Li, Y. (2018). Anaerobic digestion of food waste—Challenges and opportunities. *Bioresource technology*, 247, 1047-1058.
- Yahya, M., Herrmann, C., Ismaili, S., Jost, C., Truppel, I. & Ghorbal, A. (2021). Development and optimization of an innovative three-stage bioprocess for converting food wastes to hydrogen and methane. *Biochemical Engineering Journal*, 170, 11.
- Yalçın, A. Y. & Özcan, O. (2021). Yenilenebilir enerji üretimi ve destekleri üzerine bir tahmin modeli önerisi. *Journal of Life Economics*, 8(2), 263-272.
- Yılmaz, A., Ünvar, S., Tufan, K. O. C. A. & Koçer, A. (2017). Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri. *Technological Applied Sciences*, 12(4), 218-232.
- Yılmaz, F., Ünşar, E. K., Akman, H. E., Perendeci, N. A. & Yıldız, O. (2018). Büyükbaş Hayvan Atıkları ile Sera Hasat Atıklarından Biyogaz Üretimi ve Birlikte Anaerobik Parçalanma Prosesinin Modellenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(1), 62-69.
- Yi, J., Dong, B., Jin, J. and Dai, X. (2014). Effect of increasing total solids contents on anaerobic digestion of food waste under mesophilic conditions: performance and microbial characteristics analysis. *Plos One*, 9(7), 4.
- Yokuş, İ. (2011). *Sivas İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyeli*. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 41-42
- Yue, L., Cheng, J., Tang, S., An, X., Hua, J., Dong, H. & Zhou, J. (2021). Ultrasound and microwave pretreatments promote methane production potential and energy conversion during anaerobic digestion of lipid and food wastes. *Energy*, 228, 11.
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J. & Tan, T. (2014). Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 388.
- Zhu, A., Qin, Y., Wu, J., Ye, M. & Li, Y. Y. (2021). Characterization of biogas production and microbial community in thermophilic anaerobic co-digestion of sewage sludge and paper waste. *Bioresource Technology*, 337, 1.

EKLER

EK-1. Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi

Küresel boyutlara ulaşan gıda israfını önlemek amacıyla farklı tipte bozunmuş gıdaların biyometan potansiyellerinin ele alınmasına dair yapılan bu çalışmada, bozunmuş gıdalara ait biyolojik ve teorik metan potansiyelleri değerlendirilmiştir.

Biyolojik Metan Potansiyeli (BMP)'nin deneysel çalışmaların da uzun süreye ihtiyaç duyulması ve çevresel etmenlerden etkilenebilmesi ihtimalleri düşünüldüğünden Teorik BMP de hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; havuç ve kıyma ile elde edilen gaz hacimlerinin oldukça yüksek, armut, tavuk, peynir ve patates için ise daha düşük seviyelerde üretim olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 1. Biyogaz üretimine etki eden değişkenler ve aldığı sayısal değerler

%KATI MADDE ORANI	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BİYOĞAZ MİKTAR (mL)	BESİN	SİSTEM	İŞLEM
7,14	24	35	0	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	48	35	110	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	72	35	110	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	96	35	785	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	120	35	1060	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	144	35	1514	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	168	35	1542	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	192	35	1577	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	216	35	1577	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	240	35	1577	HAVUÇ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	24	35	0	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME

EK-1. (devam) Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi

Çizelge 1 (devam) Biyogaz üretimine etki eden değişkenler ve aldığı sayısal değerler

%KATI MADDE ORANI	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BİYOĞAZ MİKTAR (mL)	BESİN	SİSTEM	İŞLEM
7,14	48	35	31	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	72	35	149	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	96	35	245	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	120	35	245	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	144	35	245	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	168	35	245	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	192	35	245	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	216	35	245	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	240	35	245	PATATES	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	24	35	0	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	48	35	246	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	72	35	410	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	96	35	623	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	120	35	1087	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	144	35	1523	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	168	35	1549	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME

EK-1. (devam) Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi

Çizelge 1 (devam) Biyogaz üretimine etki eden değişkenler ve aldığı sayısal değerler

%KATI MADDE ORANI	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BİYOĞAZ MİKTAR (mL)	BESİN	SİSTEM	İŞLEM
7,14	192	35	1549	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	216	35	1549	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	240	35	1549	KIYMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	24	35	0	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	48	35	47	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	72	35	80	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	96	35	165	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	120	35	189	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	144	35	214	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	168	35	214	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	192	35	214	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	216	35	214	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	240	35	214	PEYNİR	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	24	35	0	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	48	35	33	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	72	35	72	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME

EK-1. (devam) Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi

Çizelge 1 (devam) Biyogaz üretimine etki eden değişkenler ve aldığı sayısal değerler

%KATI MADDE ORANI	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BİYOGAZ MİKTAR (mL)	BESİN	SİSTEM	İŞLEM
7,14	96	35	153	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	120	35	181	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	144	35	261	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	168	35	542	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	192	35	565	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	216	35	587	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	240	35	587	MUZ	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	24	35	0	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	48	35	0	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	72	35	16	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	96	35	34	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	120	35	47	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	144	35	52	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	168	35	52	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	192	35	52	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	216	35	52	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME

EK-1. (devam) Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi

Çizelge 1 (devam) Biyogaz üretimine etki eden değişkenler ve aldığı sayısal değerler

%KATI MADDE ORANI	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BİYOĞAZ MİKTAR (mL)	BESİN	SİSTEM	İŞLEM
7,14	240	35	52	ARMUT	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	24	35	0	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	48	35	180	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	72	35	231	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	96	35	540	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	120	35	540	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	144	35	540	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	168	35	540	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	192	35	540	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	216	35	540	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	240	35	540	KREMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	24	35	0	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	48	35	281	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	72	35	347	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	96	35	397	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	120	35	845	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME

EK-1. (devam) Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi

Çizelge 1 (devam) Biyogaz üretimine etki eden değişkenler ve aldığı sayısal değerler

%KATI MADDE ORANI	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BİYOĞAZ MİKTAR (mL)	BESİN	SİSTEM	İŞLEM
7,14	144	35	845	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	168	35	845	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	192	35	845	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	216	35	845	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	240	35	845	ELMA	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	24	35	0	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	48	35	0	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	72	35	0	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	96	35	0	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	120	35	72	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	144	35	181	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	168	35	181	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	192	35	181	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	216	35	181	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME
7,14	240	35	181	TAVUK	TEK KADEMELİ ANAEROBİK SİSTEM	RENDELEME- EZME

Yapay Sinir Ağları ile yapılan modelleme çalışmalarında kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından ötürü deneysel veriler normalize edilmiştir

EK-1. (devam) Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi

Çizelge 2. Biyogaz üretimine etki eden değişkenler ve aldığı sayısal değerlerden normalize edilmiş değişkenler ve değerleri.

BEKLEME SÜRESİ (Saat)NORMALİZE	BİYOGAZ MİKTAR (mL) NORMALİZE
0	0
0,111111111	0,069752695
0,222222222	0,069752695
0,333333333	0,497780596
0,444444444	0,672162334
0,555555556	0,960050729
0,666666667	0,977805961
0,777777778	1
0,888888889	1
1	1
0	0
0,111111111	0,019657578
0,222222222	0,094483196
0,333333333	0,155358275
0,444444444	0,155358275
0,555555556	0,155358275
0,666666667	0,155358275
0,777777778	0,155358275
0,888888889	0,155358275
1	0,155358275
0	0
0,111111111	0,155992391
0,222222222	0,259987318
0,333333333	0,3950539
0,444444444	0,68928345
0,555555556	0,965757768
0,666666667	0,982244769
0,777777778	0,982244769
0,888888889	0,982244769
1	0,982244769
0	0
0,111111111	0,029803424
0,222222222	0,050729233

EK-1. (devam) Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi

Çizelge 2. (devam) Biyogaz üretimine etki eden değişkenler ve aldığı sayısal değerlerden normalize edilmiş değişkenler ve değerleri.

BEKLEME SÜRESİ (Saat)NORMALİZE	BİYOGAZ MİKTAR (mL) NORMALİZE
0,333333333	0,104629042
0,444444444	0,119847812
0,555555556	0,135700698
0,666666667	0,135700698
0,777777778	0,135700698
0,888888889	0,135700698
1	0,135700698
0	0
0,111111111	0,020925808
0,222222222	0,045656309
0,333333333	0,097019658
0,444444444	0,114774889
0,555555556	0,165504122
0,666666667	0,343690552
0,777777778	0,358275206
0,888888889	0,372225745
1	0,372225745
0	0
0,111111111	0
0,222222222	0,010145847
0,333333333	0,021559924
0,444444444	0,029803424
0,555555556	0,032974001
0,666666667	0,032974001
0,777777778	0,032974001
0,888888889	0,032974001
1	0,032974001
0	0
0,111111111	0,114140774
0,222222222	0,146480659

EK-1. (devam) Çeşitli bozunmuş gıda ürünlerinin biyogaz üretim potansiyelinin değerlendirilmesi

Çizelge 2. (devam) Biyogaz üretimine etki eden değişkenler ve aldığı sayısal değerlerden normalize edilmiş değişkenler ve değerleri.

BEKLEME SÜRESİ (Saat)NORMALİZE	BİYOGAZ MİKTAR (mL) NORMALİZE
0,333333333	0,342422321
0,444444444	0,342422321
0,555555556	0,342422321
0,666666667	0,342422321
0,777777778	0,342422321
0,888888889	0,342422321
1	0,342422321
0	0
0,111111111	0,17818643
0,222222222	0,220038047
0,333333333	0,251743817
0,444444444	0,535827521
0,555555556	0,535827521
0,666666667	0,535827521
0,777777778	0,535827521
0,888888889	0,535827521
1	0,535827521
0	0
0,111111111	0
0,222222222	0
0,333333333	0
0,444444444	0,045656309
0,555555556	0,114774889
0,666666667	0,114774889
0,777777778	0,114774889
0,888888889	0,114774889
1	0,114774889

EK-2. Diyarbakır ili sebze ve meyve atıklarından biyogaz potansiyelinin araştırılması (Kızmaz,2019)

Bu çalışmada, atıl olan bir hidrofor tankı biyogaz üretimi için kullanılmıştır. Kış mevsiminde, farklı oda sıcaklığında Diyarbakır ili sebze pazarından bir araya getirilen 4 kg organik atık ve su karışımından yaklaşık 0.0344m^3 'lük biyogaz üretilmiştir. Çalışmada Diyarbakır sebze halinde ve pazarlarda yaz ayları için yaklaşık 404.2m^3 gaza ve buda 4262.20 kWh enerjiye karşılık gelen 47 tonluk atık oluştuğu belirtilmiştir.

Çizelge 3. Diyarbakır ili sebze ve meyve atıklarından biyogaz potansiyelinin araştırılması ve değişkenlerin normalize değerleri (Kızmaz, 2019).

% KATI MADDE ORANI	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BIYOGAZ MİKTAR (mL)	ATIK
28,57	360	10	34400	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI
28,57	456	9	34400	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI
28,57	648	13	34400	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI
28,57	1224	8	34400	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI
28,57	96	31	14912	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI-GÜVERCİN GÜBRESİ KARIŞIMI
28,57	120	31	14912	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI-GÜVERCİN GÜBRESİ KARIŞIMI
28,57	192	31	14912	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI-GÜVERCİN GÜBRESİ KARIŞIMI
28,57	312	33	14912	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI-GÜVERCİN GÜBRESİ KARIŞIMI

Yapay Sinir Ağları ile yapılan modelleme çalışmalarında kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından ötürü deneysel veriler normalize edilmiştir.

EK-2. Diyarbakır ili sebze ve meyve atıklarından biyogaz potansiyelinin araştırılması
(Kızmaz,2019)

Çizelge 4. Diyarbakır ili sebze ve meyve atıklarından biyogaz potansiyelinin araştırılması
ve değişkenlerin normalize değerleri

BEKLEME SÜRESİ NORMALİZE	SICAKLIK NORMALİZE	BİYOĞAZ MİKTAR NORMALİZE	ATIK
0,234	0,0800	1	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI
0,319	0,0400	1	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI
0,489	0,2000	1	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI
1,000	0,0000	1	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI
0,000	0,9200	0	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI- GÜVERCİN GÜBRESİ KARIŞIMI
0,02127659574	0,9200	0	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI- GÜVERCİN GÜBRESİ KARIŞIMI
0,08510638298	0,9200	0	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI- GÜVERCİN GÜBRESİ KARIŞIMI
0,19148936170	1,0000	0	SEBZE VE MEYVE ATIKLARI- GÜVERCİN GÜBRESİ KARIŞIMI

EK-3. Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi (Tüzüm, 2003)

Yapılan bu çalışmada yemek atıklarından biyogaz elde etmek için kesikli sistem kullanılmıştır. Anaerobik arıtım için aşı, atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Deneysel çalışmalar için 250 ml aynı hacme sahip 20 adet cam reaktör kullanılmıştır. Optimum biyogaz üretimine erişmek için sıcaklık, pH ve katı madde oranı parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Deneyler Box-Wilson deneysel tasarım yöntemi esas alınmıştır. Sonuçların değerlendirilmesi Essential Regression programı ile yapıldığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek biyogaz hızına 37.27 C sıcaklıkta, 6.48 pH değerinde, %8.14 katı madde oranında ulaşıldığı belirtilmiştir. Maksimum biyogaz hızı ise 5 mg / (gr katı saat) olarak belirtilmiştir.

Çizelge 5. Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi

KATI MADDE ORANI (%)	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BİYOĞAZ MİKTAR (mL)
11	24	38	17
7	24	38	23,3
11	24	38	16,8
7	24	38	26,2
11	24	34	21,7
7	24	34	19,4
11	24	34	19,1
7	24	34	16,1
9	24	39,36	20,4
9	24	32,64	21,8
9	24	36	14,9
9	24	36	15,9
12,36	24	36	23,8
5,64	24	36	26,2
9	24	36	28,3
9	24	36	28,7
9	24	36	27,8
9	24	36	30
9	24	36	28,9
9	24	36	26,6

EK-3. (devam) Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi

Çizelge 5. (devam)Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi

KATI MADDE ORANI (%)	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BİYOGAZ MİKTAR (mL)
11	48	38	9,3
7	48	38	20,5
11	48	38	0,5
7	48	38	18,3
11	48	34	16,7
7	48	34	19,1
11	48	34	1,9
7	48	34	14,7
9	48	39,36	15,3
9	48	32,64	11,6
9	48	36	23,3
9	48	36	1,1
12,36	48	36	4,2
5,64	48	36	15,6
9	48	36	14,8
9	48	36	12,7
9	48	36	13,6
9	48	36	12,4
9	48	36	14
9	48	36	13
11	96	38	10,8
7	96	38	0,7
11	96	38	15,2
7	96	38	2,2
11	96	34	10,8
7	96	34	2,2
11	96	34	12,9
7	96	34	7
9	96	39,36	3,4
9	96	32,64	11,4
9	96	36	6,4

EK-3. (devam) Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi

Çizelge 5. (devam)Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi

KATI MADDE ORANI (%)	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	SICAKLIK (°C)	BİYOĞAZ MİKTAR (mL)
9	96	36	13,6
12,36	96	36	12,2
5,64	96	36	2,8
9	96	36	3,9
9	96	36	4,5
9	96	36	1,7
9	96	36	0
9	96	36	0,2
9	96	36	1,1

Yapay Sinir Ağları ile yapılan modelleme çalışmalarında kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından ötürü deneysel veriler normalize edilmiştir.

Çizelge 6. Yemek atıkları numunelerinden elde edilen parametreler ve normalize edilmiş değerleri (Üzüm, 2003).

KATI MADDE MİKTARI NORMALİZE	BEKLEME SÜRESİ NORMALİZE	SICAKLIK NORMALİZE	BİYOĞAZ MİKTARI NORMALİZE
0,797619048	0	0,797619048	0,566666667
0,202380952	0	0,797619048	0,776666667
0,797619048	0	0,797619048	0,56
0,202380952	0	0,797619048	0,873333333
0,797619048	0	0,202380952	0,723333333
0,202380952	0	0,202380952	0,646666667
0,797619048	0	0,202380952	0,636666667
0,202380952	0	0,202380952	0,536666667
0,5	0	1	0,68
0,5	0	0	0,726666667
0,5	0	0,5	0,496666667
0,5	0	0,5	0,53
1	0	0,5	0,793333333

EK-3. (devam) Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi

Çizelge 6. (devam) Yemek atıkları numunelerinden elde edilen parametreler ve normalize edilmiş değerleri (Üzüm, 2003).

KATI MADDE MİKTARI NORMALİZE	BEKLEME SÜRESİ NORMALİZE	SICAKLIK NORMALİZE	BİYOĞAZ MİKTARI NORMALİZE
0	0	0,5	0,873333333
0,5	0	0,5	0,943333333
0,5	0	0,5	0,956666667
0,5	0	0,5	0,926666667
0,5	0	0,5	1
0,5	0	0,5	0,963333333
0,5	0	0,5	0,886666667
0,797619048	0,333333333	0,797619048	0,31
0,202380952	0,333333333	0,797619048	0,683333333
0,797619048	0,333333333	0,797619048	0,016666667
0,202380952	0,333333333	0,797619048	0,61
0,797619048	0,333333333	0,202380952	0,556666667
0,202380952	0,333333333	0,202380952	0,636666667
0,797619048	0,333333333	0,202380952	0,063333333
0,202380952	0,333333333	0,202380952	0,49
0,5	0,333333333	1	0,51
0,5	0,333333333	0	0,386666667
0,5	0,333333333	0,5	0,776666667
0,5	0,333333333	0,5	0,036666667
1	0,333333333	0,5	0,14
0	0,333333333	0,5	0,52
0,5	0,333333333	0,5	0,493333333
0,5	0,333333333	0,5	0,423333333
0,5	0,333333333	0,5	0,453333333
0,5	0,333333333	0,5	0,413333333
0,5	0,333333333	0,5	0,466666667
0,5	0,333333333	0,5	0,433333333
0,797619048	1	0,797619048	0,36
0,202380952	1	0,797619048	0,023333333

EK-3. (devam) Yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi

Çizelge 6. (devam) Yemek atıkları numunelerinden elde edilen parametreler ve normalize edilmiş değerleri (Üzüm, 2003).

KATI MADDE MİKTARI NORMALİZE	BEKLEME SÜRESİ NORMALİZE	SICAKLIK NORMALİZE	BİYOĞAZ MİKTARI NORMALİZE
0,797619048	1	0,797619048	0,506666667
0,202380952	1	0,797619048	0,073333333
0,797619048	1	0,202380952	0,36
0,202380952	1	0,202380952	0,073333333
0,797619048	1	0,202380952	0,43
0,202380952	1	0,202380952	0,233333333
0,5	1	1	0,113333333
0,5	1	0	0,38
0,5	1	0,5	0,213333333
0,5	1	0,5	0,453333333
1	1	0,5	0,406666667
0	1	0,5	0,093333333
0,5	1	0,5	0,13
0,5	1	0,5	0,15
0,5	1	0,5	0,056666667
0,5	1	0,5	0
0,5	1	0,5	0,006666667
0,5	1	0,5	0,036666667

EK-4. Meyve ve sebze atıklarından biyogaz üretimi için ilgili parametreler ve değerleri (Bouallagui ve Ark, 2003)

Bu çalışmada yarı sürekli karıştırılmış mezofilik tüp şeklinde anaerobik çürütücü, meyve ve sebze atıklarının biyogaza dönüştürülür dönüştürülmesi için test edilmiştir. Hidrolik alıkonma süresinin (HRT) ve besleme konsantrasyonu atıkların bozunabilirliğini genişletmek artırmak için incelendi. HRT'nin 12 ila 20 gün arasında değiştirilmesinin fermentasyon stabilitesi üzerinde hiçbir etkisi olmadığı ve pH değerlerinin 6.8 ve 7.6 arasında kaldığı, ancak HRT'de 12 günün altında bir metanojenik bakteri inhibisyonu gözlemlendiği belirtilmiştir. Reaktörün genel performansı besleme konsantrasyonu %8'den %10 TS'ye (kuru ağırlık) değiştirilerek bastırılmıştır. %6 yem konsantrasyonu ve HRT uygulayarak tüp şeklinde çürütücüde 20 günün sonunda, meyve ve sebze atıklarının %64 metan içeriği ile biyogaza dönüşüm verimi %75'e ulaştığı belirtilmiştir.

Çizelge 7. Meyve ve sebze atıklarından biyogaz üretimi için ilgili parametreler ve değerleri (Bouallagui ve Ark, 2003).

KATI MADDE ORANI (%)	BEKLEME SÜRESİ (Saat)	BİYOĞAZ MİKTAR (mL)	ATIK
4	20	695450	MEYVE VE SEBZE ATIKLARI
4	15	629490	MEYVE VE SEBZE ATIKLARI
4	12	582030	MEYVE VE SEBZE ATIKLARI
6	20	707180	MEYVE VE SEBZE ATIKLARI
6	15	641100	MEYVE VE SEBZE ATIKLARI
6	12	594960	MEYVE VE SEBZE ATIKLARI
8	20	638840	MEYVE VE SEBZE ATIKLARI
8	15	614910	MEYVE VE SEBZE ATIKLARI
8	12	514010	MEYVE VE SEBZE ATIKLARI

EK-4. (devam) Meyve ve sebze atıklarından biyogaz üretimi için ilgili parametreler ve değerleri (Bouallagui ve Ark, 2003)

Çizelge 7. (devam) Meyve ve sebze atıklarından biyogaz üretimi için ilgili parametreler ve değerleri

KATI MADDE MİKTARI NORMALİZE	BEKLEME SÜRESİ NORMALİZE	BİYOĞAZ MİKTAR NORMALİZE
0	1	0,939276285
0	0,375	0,597815396
0	0	0,352125071
0,5	1	1
0,5	0,375	0,657917896
0,5	0	0,419060931
1	1	0,646218357
1	0,375	0,522337837
1	0	0

EK-5. Anaerobik fermantasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden biyogaz üretimi (Akhmetov, N., Ar, İ. 2019)

Çizelge 8. Anaerobik fermantasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden biyogaz üretimi (Akhmetov, N., Ar, İ. 2019).

BEKLEME SÜRESİ (gün)	SICAKLIK (°C)	KATI MADDE ORANI (%)	R 1 (%100 İG)	R 2 (%100 AG)	R 3 (%100 DG)	R 4 (40/30/30)	R 5 (40/40/20)	R 6 (40/20/40)	R 7 (50/50/0)	R 8 (50/0/50)	R 9 (0/50/50)	R 10 (%100 AÇ)
1	35	4	0	0	0	0	30	0	0	0	0	45
2	35	4	0	35	0	60	58	60	0	30	10	25
3	35	4	45	60	20	60	62	55	80	60	40	25
4	35	4	30	35	20	24	30	30	30	25	28	5
5	35	4	75	55	40	62	60	60	70	45	50	5
6	35	4	65	35	30	48	60	40	55	45	40	0
7	35	4	60	30	25	55	60	50	90	40	38	0
8	35	4	70	60	31	45	70	60	80	30	52	0
9	35	4	50	40	20	33	32	35	45	40	40	0
10	35	4	40	60	30	47	43	50	50	40	25	0
11	35	4	45	50	35	35	35	40	45	35	23	0
12	35	4	55	56	25	45	60	47	55	55	42	0
13	35	4	25	18	30	50	45	68	38	40	26	0
14	35	4	50	48	0	50	62	70	77	38	50	0
15	35	4	60	60	25	68	68	70	73	60	48	0
16	35	4	46	68	33	58	70	63	76	57	50	0
17	35	4	104	79	22	69	84	92	78	45	60	0
18	35	4	160	90	15	65	95	70	192	60	62	0
19	35	4	40	55	20	41	45	45	78	35	36	0
20	35	4	90	135	37	74	105	90	1	80	87	0
21	35	4	65	80	38	55	70	60	86	50	56	0
22	35	4	40	60	27	40	50	50	54	50	54	0
23	35	4	35	72	35	50	54	65	68	55	53	0
24	35	4	35	48	40	37	34	35	24	43	37	0
25	35	4	20	35	12	18	37	20	38	27	28	0
26	35	4	46	101	22	32	5	15	24	35	26	0
27	35	4	34	34	18	33	32	20	26	20	26	0
28	35	4	5	45	36	12	0	25	0	45	45	0
29	35	4	45	33	42	48	40	45	28	45	43	0
30	35	4	15	22	26	23	26	15	15	30	26	0
31	35	4	15	25	24	21	10	5	13	22	22	0
32	35	4	15	17	22	18	30	20	14	23	22	0
33	35	4	18	18	19	22	22	28	8	17	23	0
34	35	4	17	20	19	24	18	22	6	20	24	0

EK-5. (devam) Anaerobik fermentasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden biyogaz üretimi (Akhmetov, N., Ar, İ. 2019)

Çizelge 9. Anaerobik fermentasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden biyogaz üretimi

ph1	ph2	ph3	ph4	ph5	ph6	ph7	ph8	ph9	ph10
6,75	7,38	7,74	7,05	7,01	7,09	6,92	7,05	7,58	7,68
6,75	7,38	7,74	7,05	7,01	7,09	6,92	7,05	7,58	7,68
6,75	7,38	7,74	7,05	7,01	7,09	6,92	7,05	7,58	7,68
6,84	7	7,36	6,88	6,85	6,95	6,77	7	7,15	7,65
6,84	7	7,36	6,88	6,85	6,95	6,77	7	7,15	7,65
6,84	7	7,36	6,88	6,85	6,95	6,77	7	7,15	7,65
6,84	7	7,36	6,88	6,85	6,95	6,77	7	7,15	7,65
7,42	7	7,38	7,29	7,21	7,31	7,16	7,32	7,09	7,61
7,42	7	7,38	7,29	7,21	7,31	7,16	7,32	7,09	7,61
7,42	7	7,38	7,29	7,21	7,31	7,16	7,32	7,09	7,61
7,42	7	7,38	7,29	7,21	7,31	7,16	7,32	7,09	7,61
7,33	7,31	7,35	7,36	7,3	7,32	7,27	7,35	7,39	7,52
7,33	7,31	7,35	7,36	7,3	7,32	7,27	7,35	7,39	7,52
7,33	7,31	7,35	7,36	7,3	7,32	7,27	7,35	7,39	7,52
7,33	7,31	7,35	7,36	7,3	7,32	7,27	7,35	7,39	7,52
7,48	7,43	7,37	7,42	7,39	7,37	7,42	7,34	7,33	7,36
7,48	7,43	7,37	7,42	7,39	7,37	7,42	7,34	7,33	7,36
7,48	7,43	7,37	7,42	7,39	7,37	7,42	7,34	7,33	7,36
7,48	7,43	7,37	7,42	7,39	7,37	7,42	7,34	7,33	7,36
7,48	7,43	7,37	7,42	7,39	7,37	7,42	7,34	7,33	7,36
7,48	7,43	7,37	7,42	7,39	7,37	7,42	7,34	7,33	7,36
7,48	7,4	7,35	7,44	7,42	7,37	7,38	7,38	7,32	7,33
7,48	7,4	7,35	7,44	7,42	7,37	7,38	7,38	7,32	7,33
7,48	7,4	7,35	7,44	7,42	7,37	7,38	7,38	7,32	7,33
7,48	7,4	7,35	7,44	7,42	7,37	7,38	7,38	7,32	7,33
7,48	7,4	7,35	7,44	7,42	7,37	7,38	7,38	7,32	7,33
7,48	7,4	7,35	7,44	7,42	7,37	7,38	7,38	7,32	7,33
7,48	7,4	7,35	7,44	7,42	7,37	7,38	7,38	7,32	7,33
7,47	7,5	7,3	7,37	7,41	7,38	7,36	7,39	7,33	7,32
7,47	7,5	7,3	7,37	7,41	7,38	7,36	7,39	7,33	7,32
7,47	7,5	7,3	7,37	7,41	7,38	7,36	7,39	7,33	7,32
7,47	7,5	7,3	7,37	7,41	7,38	7,36	7,39	7,33	7,32
7,47	7,5	7,3	7,37	7,41	7,38	7,36	7,39	7,33	7,32
7,47	7,5	7,3	7,37	7,41	7,38	7,36	7,39	7,33	7,32
7,48	7,47	7,34	7,38	7,44	7,52	7,54	7,34	7,52	7,32

EK-5. (devam) Anaerobik fermantasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden biyogaz üretimi (Akhmetov, N., Ar, İ. 2019)

Çizelge 10. Anaerobik fermantasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden biyogaz üretimi

BEKLEME S. NORM	R 1 (%100 İG)	R 2 (%100 AG)	R 3 (%100 DG)	R 4 (40/30/30)	R 5 (40/40/20)	R 6 (40/20/40)	R 7 (50/50/0)	R 8 (50/0/50)	R 9 (0/50/50)	R 10 (%100 AÇ)
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,286	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
0,030	0,000	0,259	0,000	0,811	0,552	0,313	0,000	0,375	0,115	0,556
0,061	0,281	0,444	0,476	0,811	0,590	0,286	0,417	0,750	0,460	0,556
0,091	0,188	0,259	0,476	0,324	0,286	0,156	0,156	0,313	0,322	0,111
0,121	0,469	0,407	0,952	0,838	0,571	0,313	0,365	0,563	0,575	0,111
0,152	0,406	0,259	0,714	0,649	0,571	0,208	0,286	0,563	0,460	0,000
0,182	0,375	0,222	0,595	0,743	0,571	0,260	0,469	0,500	0,437	0,000
0,212	0,438	0,444	0,738	0,608	0,667	0,313	0,417	0,375	0,598	0,000
0,242	0,313	0,296	0,476	0,446	0,305	0,182	0,234	0,500	0,460	0,000
0,273	0,250	0,444	0,714	0,635	0,410	0,260	0,260	0,500	0,287	0,000
0,303	0,281	0,370	0,833	0,473	0,333	0,208	0,234	0,438	0,264	0,000
0,333	0,344	0,415	0,595	0,608	0,571	0,245	0,286	0,688	0,483	0,000
0,364	0,156	0,133	0,714	0,676	0,429	0,354	0,198	0,500	0,299	0,000
0,394	0,313	0,356	0,000	0,676	0,590	0,365	0,401	0,475	0,575	0,000
0,424	0,375	0,444	0,595	0,919	0,648	0,365	0,380	0,750	0,552	0,000
0,455	0,288	0,504	0,786	0,784	0,667	0,328	0,396	0,713	0,575	0,000
0,485	0,650	0,585	0,524	0,932	0,800	0,479	0,406	0,563	0,690	0,000
0,515	1,000	0,667	0,357	0,878	0,905	0,365	1,000	0,750	0,713	0,000
0,545	0,250	0,407	0,476	0,554	0,429	0,234	0,406	0,438	0,414	0,000
0,576	0,563	1,000	0,881	1,000	1,000	0,469	0,005	1,000	1,000	0,000
0,606	0,406	0,593	0,905	0,743	0,667	0,313	0,448	0,625	0,644	0,000
0,636	0,250	0,444	0,643	0,541	0,476	0,260	0,281	0,625	0,621	0,000
0,667	0,219	0,533	0,833	0,676	0,514	0,339	0,354	0,688	0,609	0,000
0,697	0,219	0,356	0,952	0,500	0,324	0,182	0,125	0,538	0,425	0,000
0,727	0,125	0,259	0,286	0,243	0,352	0,104	0,198	0,338	0,322	0,000
0,758	0,288	0,748	0,524	0,432	0,048	0,078	0,125	0,438	0,299	0,000
0,788	0,213	0,252	0,429	0,446	0,305	0,104	0,135	0,250	0,299	0,000
0,818	0,031	0,333	0,857	0,162	0,000	0,130	0,000	0,563	0,517	0,000
0,848	0,281	0,244	1,000	0,649	0,381	0,234	0,146	0,563	0,494	0,000
0,879	0,094	0,163	0,619	0,311	0,248	0,078	0,078	0,375	0,299	0,000
0,909	0,094	0,185	0,571	0,284	0,095	0,026	0,068	0,275	0,253	0,000
0,939	0,094	0,126	0,524	0,243	0,286	0,104	0,073	0,288	0,253	0,000
0,970	0,113	0,133	0,452	0,297	0,210	0,146	0,042	0,213	0,264	0,000
1,000	0,106	0,148	0,452	0,324	0,171	0,115	0,031	0,250	0,276	0,000

EK-5. (devam) Anaerobik fermentasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden biyogaz üretimi (Akhmetov, N., Ar, İ. 2019)

Çizelge 11. Anaerobik fermentasyon ile farklı karışım oranlarında inek, at ve deve gübrelerinden biyogaz üretimi

ph1	ph2	ph3	ph4	ph5	ph6	ph7	ph8	ph9	ph10
0,000	0,760	1,000	0,304	0,271	0,246	0,195	0,128	1,000	1,000
0,000	0,760	1,000	0,304	0,271	0,246	0,195	0,128	1,000	1,000
0,000	0,760	1,000	0,304	0,271	0,246	0,195	0,128	1,000	1,000
0,123	0,000	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,917
0,123	0,000	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,917
0,123	0,000	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,917
0,123	0,000	0,136	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,122	0,917
0,918	0,000	0,182	0,732	0,610	0,632	0,506	0,821	0,000	0,806
0,918	0,000	0,182	0,732	0,610	0,632	0,506	0,821	0,000	0,806
0,918	0,000	0,182	0,732	0,610	0,632	0,506	0,821	0,000	0,806
0,918	0,000	0,182	0,732	0,610	0,632	0,506	0,821	0,000	0,806
0,795	0,620	0,114	0,857	0,763	0,649	0,649	0,897	0,612	0,556
0,795	0,620	0,114	0,857	0,763	0,649	0,649	0,897	0,612	0,556
0,795	0,620	0,114	0,857	0,763	0,649	0,649	0,897	0,612	0,556
0,795	0,620	0,114	0,857	0,763	0,649	0,649	0,897	0,612	0,556
1,000	0,860	0,159	0,964	0,915	0,737	0,844	0,872	0,490	0,111
1,000	0,860	0,159	0,964	0,915	0,737	0,844	0,872	0,490	0,111
1,000	0,860	0,159	0,964	0,915	0,737	0,844	0,872	0,490	0,111
1,000	0,860	0,159	0,964	0,915	0,737	0,844	0,872	0,490	0,111
1,000	0,860	0,159	0,964	0,915	0,737	0,844	0,872	0,490	0,111
1,000	0,800	0,114	1,000	0,966	0,737	0,792	0,974	0,469	0,028
1,000	0,800	0,114	1,000	0,966	0,737	0,792	0,974	0,469	0,028
1,000	0,800	0,114	1,000	0,966	0,737	0,792	0,974	0,469	0,028
1,000	0,800	0,114	1,000	0,966	0,737	0,792	0,974	0,469	0,028
1,000	0,800	0,114	1,000	0,966	0,737	0,792	0,974	0,469	0,028
0,986	1,000	0,000	0,875	0,949	0,754	0,766	1,000	0,490	0,000
0,986	1,000	0,000	0,875	0,949	0,754	0,766	1,000	0,490	0,000
0,986	1,000	0,000	0,875	0,949	0,754	0,766	1,000	0,490	0,000
0,986	1,000	0,000	0,875	0,949	0,754	0,766	1,000	0,490	0,000
0,986	1,000	0,000	0,875	0,949	0,754	0,766	1,000	0,490	0,000
1,000	0,940	0,091	0,893	1,000	1,000	1,000	0,872	0,878	0,000



GAZİ GELECEKTİR..