

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**BİYOĞAZ SANTRALİ ANALİZİ
VE ELEKTRİK ÜRETİMİ**

Ali Bahadır CEYLAN

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NİL**



MANİSA-2020

**Ali Bahadır
CEYLAN**

BIYOGAZ SANTRALI ANALİZİ VE ELEKTRİK ÜRETİMİ

2020

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ali Bahadır CEYLAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
TABLO DİZİNİ	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Biyokütle ve Biyogaz Arasındaki İlişki	5
2.2. Biyogaz Tarihi.....	7
2.2.1. Biyogazın Dünya Tarihi ve Gelişimi.....	7
2.2.2. Biyogazın Türkiye Tarihi	9
2.2.3. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar	9
2.3. Biyogazın Özellikleri	11
2.4. Biyogaz Üretiminin Mikrobiyolojisi	11
2.5. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler	14
2.5.1. Yükleme Oranın Etkisi.....	15
2.5.2. Reaktörde Bekletme Süresinin Etkisi.....	16
2.5.3. Karbon / Azot Oranın Etkisi.....	16
2.5.4. Çalışma Sıcaklığının Etkisi	19
2.5.5. Karıştırmanın Etkisi	21
2.5.6. Alkalinite ve Ph Etkisi.....	22
2.5.7. Basıncın Etkisi.....	24
2.5.8. Redoks Potansiyelinin Etkisi.....	24
2.5.9. Uçucu Yağ Asitlerinin Etkisi	24
2.5.10. İnhibitör ve Toksik Etkisi.....	24
2.5.11. Amonyak Etkisi	25
2.6. Biyogaz Sisteminin Elemanları	26
2.7. Biyogaz Reaktörleri.....	28
2.7.1. Biyogaz Reaktörlerin Beslemelerine Göre Türleri.....	29
2.7.1.1. Sürekli Beslemeli Biyogaz Reaktörü.....	29
2.7.1.2. Yarı Kesikli Beslemeli Biyogaz Reaktörü.....	29
2.7.1.3. Kesikli Beslemeli Biyogaz Reaktörü.....	29
2.7.2. Reaktör Tasarımına Göre Biyogaz Reaktörleri	29
2.7.2.1. Sabit Kubbeli Biyogaz Reaktörü	29
2.7.2.2. Hareketli Kubbeli Biyogaz Reaktörü.....	30
2.7.2.3. Membran Tipi Biyogaz Reaktörü	31
2.8. Biyogaz Desülfürizasyon Ünitesinin Çalışması	32
2.9. Kojenerasyon Sistemi.....	35
2.10. Biyogaz Sistemi Otomasyonu	37
2.11. Biyogaz Sistemindeki Sorunlar ve İzlenmesi Gereken Parametreler....	38
2.12. Biyogaz Sistemindeki Sensörler.....	39
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	40
3.1. Türkiye’deki Lisanslı Biyogaz Santralleri	40
3.2. Türkiye’deki İllere Göre Hayvan Dağılım Sayısı	41
3.3. Manisa İli Bilgisi.....	42

3.4. Manisa İli Koordinat Bilgisi	43
3.5. Manisa İli Hayvan Potansiyeli	43
3.5.1. Manisa İli Büyükbaş Hayvan Sayısı	43
3.5.2. Manisa İli Küçükbaş Hayvan Sayısı	45
3.5.3. Manisa İli Kanatlı Hayvan Sayısı.....	46
3.6. Hayvanlardan Elde Edilecek Atık Potansiyeli	48
3.7. Hayvanlardan Elde Edilecek Kullanabilir Atık Potansiyeli.....	51
3.8. Üretilebilecek Biyogaz Miktarı.....	54
3.9. Üretilebilecek Elektrik Miktarı	56
3.10. Regresyon Analizi.....	60
3.10.1. Modeller	60
3.10.2. Regresyon Analizinin Amacı ve Kullanımı	61
3.10.3. Grafiksel ve Sayısal Yöntemler.....	62
3.10.4. Non-Linear Regresyon Analizinde Modeller	62
3.11. Optimizasyon	64
3.11.1. Tek Amaçlı Optimizasyon	64
3.11.2. Çok Amaçlı Optimizasyon.....	65
3.11.3. Stokastik Optimizasyon Algoritmaları.....	65
3.11.3.1. Nelder-Mead Algoritması.....	65
3.11.3.2. Simulated Annealing Algoritması	67
3.11.3.3. Differential Evolution Algoritması.....	69
3.11.3.4. Random Search Algoritması.....	70
3.12. Wolfram Mathematica ve Optimizasyon	71
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	75
4.1.Regresyon Analizi ve Modelleme Sonuçları.....	75
4.1.1. Çıkış1 Toplam Üretilen Elektrik Üretim Miktarı.....	77
4.1.2. Çıkış2 Büyükbaş Hayvandan Üretilen Elektrik Miktarı	80
4.1.3. Çıkış3 Küçükbaş Hayvandan Üretilen Elektrik Miktarı	83
4.1.4. Çıkış4 Küçükbaş Hayvandan Üretilen Elektrik Miktarı	86
4.2.Optimizasyon Senaryoları	90
4.2.1. Senaryo1 En Yüksek Üretilen Elektrik Miktarı	90
4.2.2. Senaryo2 Kısıtlamalar Girildiğinde Üretilen Elektrik Miktarı.....	93
4.2.2.1. Senaryo2 Büyükbaş Hayvan Kısıtlamalı	93
4.2.2.2. Senaryo2 Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Kısıtlamalı	95
4.2.2.3. Senaryo2 Büyükbaş, Küçükbaş, Kanatlı Hayvan Kısıtlamalı ..	96
4.2.3. Senaryo3.....	98
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	108

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ANN	Artificial Neural Network (Yapay Sinir Ağları)
C	Celcius (Santigrat)
CH₄	Metan
CO₂	Karbondioksit
DEA	Different Evolution Algorithm (Farklı Evrim Algoritması)
H₂	Hidrojen
HAP	Hayvansal Atık Potansiyeli
H₂S	Hidrojen Sülfür
KAP	Kullanılabilir Atık Potansiyeli
KCAL	Kilo calorie (kilokalori)
KG	Kilogram
KH	Hidroliz Hız Sabiti
KJ	Kilo Joule
KM	Kilo Metre
KWH	Kilo Watt Hours (Kilo watt Saat)
L	Litre
LPG	Liquified Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
M³	Metreküp
Mean	Ortalama
M.Ö.	Milattan Önce
M.S.	Milattan Sonra
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MWH	Mega Watt Hours (Mega watt Saat)
N	Newton
N₂	Azot
NH₃	Amonyak
NMA	Nelder Mead Algorithm (Nelder Mead Algoritması)
NTC	Negative Temperature Coefficient (Negatif Sıcaklık Katsayılı)
O₂	Oksijen
PH	Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)
PPM	Parts Per Million (Milyonda bir)
PTC	Pozitive Temperature Coefficient (Pozitif Sıcaklık Katsayılı)

RSA	Simulted Annealing Algorithm (Rastgele Arama Algoritması)
SAA	Random Search Algorithm (Benzetimli Tavlama Algoritması)
SSE	Sum of Squares Error (Hatanın Kareler Toplamı, Açıklanabilen Varyasyon)
SST	Sum of Squares Total (Toplamın Kareler Toplamı, Toplam Varyasyon)
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
X1	Giriş Değişkeni Manisa İlinin Enlem Koordinatları
X11	Giriş Değişkeni Enlem Yüzde Seksen Yazılan
XX1	Giriş Değişkeni Enlem Yüzde Yirmi Yazılan
X2	Giriş Değişkeni Manisa İlinin Boylam Koordinatları
X22	Giriş Değişkeni Boylam Yüzde Seksen Yazılan
XX2	Giriş Değişkeni Boylam Yüzde Yirmi Yazılan
YY	Çıkış Değişkeni
YY2	Çıkış Değişkeni Yüzde Seksen Yazılan
YY3	Hesaplanan değer
YBAR	Gerçek Değerin Ortalaması

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Anaerobik sindirim sistemi süreci mekanizması	14
Şekil 2.2. Metan üretimi ve sıcaklık bölgeleri arasındaki ilişki	20
Şekil 2.3. Bulamaç kıvamına gelmiş tank içi görüntü	22
Şekil 2.4. Biyogaz sisteminin elemanları	26
Şekil 2.5. Biyogaz kontrol blok diyagramı	28
Şekil 2.6. Sabit kubbeli biyogaz reaktörü	30
Şekil 2.7. Hareketli kubbeli biyogaz reaktörü.....	31
Şekil 2.8. Membran tipi biyogaz reaktörü.....	32
Şekil 2.9. Desülfürizasyon ünitesi.....	33
Şekil 2.10. Desülfürizasyon sisteminin görüntüsü	34
Şekil 2.11. Kojenerasyon sisteminin verimlerin karşılaştırılması.....	35
Şekil 3.1. Türkiye’deki biyogaz tesislerinin dağılışı.....	41
Şekil 3.2. Türkiye’deki hayvancılık sektöründeki dağılışı.....	41
Şekil 3.3. Manisa ili büyükbaş hayvan sayıları	44
Şekil 3.4. Manisa ili küçükbaş hayvan sayıları	46
Şekil 3.5. Manisa ili kanatlı hayvan sayıları	47
Şekil 3.6. Manisa ili toplam kullanılabilir atık potansiyeli	53
Şekil 3.7. Manisa ili toplam üretilebilecek biyogaz miktarı	56
Şekil 3.8. Manisa ili toplam üretilebilecek elektrik miktarı	59
Şekil 3.9. Nelder mead algoritma akış şeması	66
Şekil 3.10. Simulated annealing algoritma akış şeması	68
Şekil 3.11. Differential evolution algoritma akış şeması	69
Şekil 3.12. Random search algoritma akış şeması	70
Şekil 3.13. Wolfram mathematica 11 giriş ekranı	71
Şekil 3.14. Wolfram mathematica 11 işlemlerin yapıldığı ekran	72
Şekil 4.1. Çıkış 1 giriş değişkenleri	77
Şekil 4.2. Çıkış 1 test değeri.....	80
Şekil 4.3. Çıkış 2 giriş değişkenleri	81
Şekil 4.4. Çıkış 2 test değeri.....	83
Şekil 4.5. Çıkış 3 giriş değişkenleri	84
Şekil 4.6. Çıkış 3 test değeri.....	86
Şekil 4.7. Çıkış 4 giriş değişkenleri	87
Şekil 4.8. Çıkış 4 test değeri.....	89
Şekil 4.9. Manisa ilçeleri haritası	90
Şekil 4.10. Senaryo1 için elde edilen değer	91
Şekil 4.11. Senaryo1 için haritadaki uygun nokta.....	92
Şekil 4.12. Senaryo1 için hassasiyet	93
Şekil 4.13. Senaryo2 büyükbaş hayvan kısıtlamalı.....	94
Şekil 4.14. Senaryo2 büyükbaş hayvan kısıtlamalı uygun nokta.....	94
Şekil 4.15. Senaryo2 büyükbaş ve küçükbaş hayvan kısıtlamalı.....	95
Şekil 4.16. Senaryo2 büyükbaş ve küçükbaş hayvan kısıtlamalı uygun nokta...	96
Şekil 4.17. Senaryo2 büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan kısıtlamalı	97
Şekil 4.18. Senaryo2 büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan kısıtlamalı nokta ..	98
Şekil 4.19. Senaryo3	99
Şekil 4.20. Senaryo3 sonuç görüntüsü	100

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Biyogaz içindeki gaz karışımları	5
Tablo 2.2. Biyogaz ve diğer yakıtların bazı özellikleri	6
Tablo 2.3. Sığır ve tavuk gübrelerinin değişik sıcaklıklarda biyogaz verimi	11
Tablo 2.4. Organik maddelerin karbon / azot oranı	18
Tablo 3.1. Türkiye’deki biyogaz santralleri	40
Tablo 3.2. Manisa ilçeleri koordinatları bilgisi	43
Tablo 3.3. Manisa ilindeki büyükbaş hayvan sayıları	44
Tablo 3.4. Manisa ilindeki küçükbaş hayvan sayıları	45
Tablo 3.5. Manisa ilindeki kanatlı hayvan sayıları	47
Tablo 3.6. Manisa ilindeki tüm hayvan sayıları	49
Tablo 3.7. Manisa ili hayvansal atık potansiyeli	51
Tablo 3.8. Manisa ili kullanılabilir atık potansiyeli	52
Tablo 3.9. Manisa ili üretilebilecek biyogaz miktarı	55
Tablo 3.10. Manisa ili üretilebilecek elektrik miktarı	57
Tablo 4.1. Çıkış1 modelleri	78
Tablo 4.2. Çıkış2 modelleri	81
Tablo 4.3. Çıkış3 modelleri	85
Tablo 4.4. Çıkış4 modelleri	88
Tablo 4.5. Manisa ilçeleri kullanılan değerler koordinatları bilgisi	91

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Dr. Mustafa NİL'e, yüksek lisans eğitimim sırasında desteğini ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Hayati MAMUR'a, yüksek lisans eğitimim sırasında desteği ve analiz konusunda her türlü imkânı sağlayan hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Levent AYDIN'a ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi İlker POLATLIOĞLU'na, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen 22.05.2020 tarihinde kaybettiğim canım annem Dilek CEYLAN'a, tek dayanağım canım babam Mustafa CEYLAN'a ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Ali Bahadır CEYLAN
Manisa, 2020



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**Biyogaz Santrali Analizi ve
Elektrik Üretimi**

Ali Bahadır CEYLAN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NİL

Ülkelerin endüstriyel, sosyal ve ekonomik yapılarının gelişmesinde enerji faktörü önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple birçok ülke alternatif enerji kaynaklarıyla ilgilenmekte, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji elde etmeye çalışmakta ve mevcut santrallerin daha verimli kullanılması için devamlı kayıp analizi yapmaktadır. Elektrik enerjisi üretim yollarından birisi de biyokütle enerjisi ile biyogaz üretimidir. Oksijensiz ortam içinde organik atıkların fermantasyonu sonucunda ortaya çıkan; renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi şeklinde yanan içeriğinde metan olan bir gaz karışımıdır. Bu çalışmada bir biyogaz santralinin kısımları incelenmiştir. Manisa ili ve ilçelerinde bulunan hayvansal atık potansiyeli hesaplanmıştır. Manisa ili ve ilçelerinde biyogaz potansiyeli incelenerek, Mathematica programı sayesinde gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Sistemin analizleri sonucunda matematiksel model elde edilmiştir. Bu matematiksel modele bağlı olarak en uygun ilçeye kurulabileceği çevredeki potansiyeller dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar ve optimizasyonlar sayesinde Manisa’da Gölmarmara, Salihli ve Ahmetli üçgeni çevresinde biyogaz tesisinin kurulmasının daha uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Bu kurulum gerçekleştiğinde yılda 61 GWh elektrik enerjisi üretiminin olabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Manisa ili, Biyogaz Potansiyeli, Elektrik Üretimi, Optimizasyon

2020, 108 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Biogas Power Plant Analysis and Electricity Generation

Ali Bahadır CEYLAN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa NİL

Energy factor plays an important role in the development of industrial, social and economic structures of countries. For this reason, many countries in deals with alternative energy sources, tries to obtain energy from renewable energy sources and conducts continuous loss analysis for more efficient use of existing power plants. One of this ways of producing electricity is biomass energy and biogas production. The material that comes out as a result of the fermentation of organic wastes in an oxygen-free environment is a mixture of colorless, odorless, lighter than air, with methane in its burning content in the form of bright blue. Parts of a biogas plant were examined in this study. It has been studied that was calculated animal potential in Manisa province and districts. The biogas potential in Manisa province and districts was examined and the necessary calculations were made thanks to Mathematica program. As result of the analysis of the system, a mathematical model was obtained. Depending on this mathematical model, the most suitable district in which it can established has been calculated by considering the potential in the environment. Thanks to calculations and optimizations, it was concluded that it would be more appropriate to establish a biogas plant for the Gölarmara, Salihli and Ahmetli triangle in Manisa. When this installation took place it was determined that there could be 61 GWh of electrical power generation per year.

Keywords: Manisa Province, Biogas Potential, Electricity Production, Optimization

2020, 108 pages

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artmasına paralel olarak sanayinin gelişmesi enerji kaynaklarına olan talebi artırmaktadır. Mevcut enerji kaynakları yetersiz gelmektedir. Bundan dolayı enerji fiyatları yükselmektedir. Enerji insanların günlük yaşamlarında yararlandıkları çok önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu yüzden enerji üretimine olan eğilim git gide artmaktadır. Enerji üretiminde kömür, petrol, doğalgaz, rüzgâr, biyoyakıt, jeotermal, hidrolik, gel-git, dalga ve nükleer enerji gibi sayabileceğimiz pek çok kaynaktan faydalanılmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte yenilebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Bu da yenilebilir enerji kaynakları açısından büyük bir ivme kazanmıştır. Yenilebilir enerji kaynakları: güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, hidroelektrik gibidir [1].

Dünya'nın enerji piyasaları büyük ölçüde fosil kaynaklara dayanır. Dünyada milyonlarca yıl fosil yakıt oluşturmak gerektiğinden, rezervler sınırlıdır. Fosil yakıtların hızla tükenmesi, çevreye zarar vermektedir. Bu da gelecek nesiller için tehdit oluşturmaktadır. Fosil yakıtların yerini alabilecek kadar büyük olduğu bilinen tek doğal, yenilebilir karbon kaynağı olan biyokütledir [2].

Biyokütle, karada büyüyen ve suda yetişen bitkilerin artıkları ve atıkları, hayvansal artıklar ve atıklar, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren biyolojik kökenli tüm organik madde kütlesi olarak tanımlanmaktadır. Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir [3].

Başlıca biyokütle kaynakları kendi aralarında gruplara ayrılmıştır. Bitkisel biyokütle kaynakları; yağlı tohumlu bitkiler: kanola, ayçiçeği, soya, aspir, ketencik; şeker ve nişastalı bitkiler: buğday, mısır, patates, şekerpancarı, şekerkamışı; elyaf bitkiler: keten, kenevir, pamuk, jüt, sorgum, miskantus; protein bitkiler: bezelye, fasulye, mercimek; bitkisel ve tarımsal atıklar: sap, saman, kök, dal, kabuk, yaprak gibidir. Orman ve orman ürünlerinden elde edilen biyokütle kaynakları: odun, orman atıkları, enerji ormanları çeşitli ağaçlardır. Hayvansal biyokütle kaynakları: sığır, manda, inek, at, koyun, tavuk, domuz, eşek, ördek, kaz, keçi, hindi gibi hayvanların ortaya çıkardıkları atıklardır. Organik çöpler, kanalizasyon ve dip çamurları, endüstriyel ve evsel atık suları, kâğıt sanayi, gıda sanayi atıkları, belediye ve büyük

sanayi atıklarıdır. Biyokütle aynı zamanda organik karbon olarak da kabul edilmektedir [4]. Biyokütleden bazı yöntemler ile biyogaz, biyodizel, biyoetanol gibi üretim teknolojileri mevcuttur. Bu teknolojilerden en önemlisi de olarak gösterilende biyokütleden biyogaz üretimidir [5].

Biyokütle enerji dönüşümlerinde bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden şöyle sıralanmıştır. Termokimyasal yöntem: direkt yakma (baca gazı), gazlaştırma (sentetik gaz), sıvılaştırma, piroliz (sentetik gaz), esterleşme (biyodizel)'dir. Biyokimyasal yöntemler ise Fermantasyon(biyoetanol), biyofotoliz, anaerobik mayalanma (biyogaz)'dır. Fizyokimyasal yöntemler ise transestrifikasyon'dur [4].

Biyogaz, atıkların veya artıkların, anaerobik (oksijensiz solunum) fermantasyon sonucu ortaya çıkan, havadan hafif, parlak mavi alevle yanan, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Biyogaz içinde hayvansal artıklar, bitkisel artıklar, organik çöpler şehir ve endüstriyel içerikli atıklar bulunur [6]. Ayrıca bozunma sonucunda kompost atıkta oluşur.

Biyogaz kullanımı sürdürülebilir enerji üretiminin bir biçimidir. Fosil yakıtlara daha az bağımlılık ve sera gazı emisyonunun azaltılması için izin verir [7]. Biyogaz diğer enerji kaynaklarına kıyasla avantajlıdır. Çünkü biyogaz enerjisi zamanla depolanabilir ve kullanılabilir.

Biyogaz için tesisin talebe bağlı olarak birçok faktör dikkate alınmalıdır. Bu faktörlerin biri de hammadde özellikleridir. Bu nedenle, anaerobik sindirim teknolojisinin ana hedefi olan verimli biyogaz tesisi işletimi için doğru hammadde değerlendirmesi gereklidir. Biyogaz potansiyeli ve biyogaz üretim hızı için hammadde önemli bir parametredir [8].

Biyolojik atık veya enerji bitkileri gibi kompleks substratlar uygulandığında, hidrolizin anaerobik bozunma sırasında hızı sınırlayıcı bir işlem olduğu varsayılabilir [9]. Bu nedenle, anaerobik sindirim işlemi sırasında herhangi bir mikrobiyal inhibisyon meydana gelmediğinde, genel işlem hızının esas olarak hidroliz hızı sabiti k_h ile tarif edilecek hidroliz hızı tarafından yönlendirildiği varsayılabilir [10].

Biyogaz üretiminin modellenmesi daha önce iyi çalışılmış olmasına rağmen, kimyasal bileşikler ve hidroliz hızı sabiti arasındaki korelasyon hakkındaki bilgiler sınırlıdır. Bir biyogaz potansiyeline göre çeşitli hammaddelerin değerlendirilmesi için sadece kimyasal bileşime dayalı olarak hem biyogaz veriminin hem de biyogaz üretim hızının eş zamanlı tahminine izin veren bir model herkes için beklenen bir istektir. Elde edilmesi zordur [11, 12].

Biyogaz sisteminin değişik avantajları vardır. En önemli avantajı ise enerji kaynağı olarak kullanılmasıdır. Üretim oldukça basit ve maliyetsizdir. Üretimde kullanılacak malzemeler bitkisel, hayvansal, endüstriyel, belediye atıkları gibi maddelerdir. Doğa da daha çok kirliliği önleyici olduğu düşünülmektedir. Kurulumu kolaydır. Mevcut doğalgaza katılarak maliyeti düşürmesidir. Yer altı sularının kirlenmesini önler. Kötü koku ve çöplerin kendiliğinden tutuşması önlenir. Biyogaz sayesinde hayvan gübresinin kötü kokusu engellenmiş olur. Bunun sonucunda çevre de sinek vb. gibi türlerin üremesi engellenmiş olur. Organik kökenli atıkların ve artıkların toprağa kazandırılmasında yardımcı olur. Biyogaz üretiminin sonunda atıklar tamamen yok olmamaktadır. Bunun yerine daha değerli organik gübre elde etmiş olunur. Sera gazı emisyonunu azaltır. Büyük bir kurulum maliyeti gerektirmez. Kojenerasyon ünitesi kullanılarak reaktörü ısıtma için ekstra kaynak harcanmamasıdır. İstenirse küçük maliyetli ev tipi biyogaz reaktörü kullanılabilir. Evde birçok alanda da hem ısı hem de elektrik kaynağı olarak yararlanabilir. Biyogaz değişik alanlarda kullanılır. Isıtmada, elektrikli aydınlatmada ve motorların yakıtı içinde kullanılır. Isıtma amacıyla gaz yakıtlarıyla çalışan ocak ve fırınlardan yararlanılacağı gibi şofben ve termosifonlarda da kullanılır. Hayvancılık ve bitli üretim sektörlerinin gelişmesini sağlar. Artan gübrelerin satılmasını sağlar. Topraklarda gübre kullanımıyla daha verimli yiyeceklerin üretilmesine katkı sağlar.

Anaerobik fermentasyon süresince ısı değeri düşük olan biyogaz doğalgaza benzer özellik gösteren bir yakıttır. Biyogaz doğalgaz için kullanılan tüm uygulamalarda kullanılabilir. Doğalgaz da biyogaz da aslında metan içerir. Tek farklarının arasındaki ısı değerlerinin farklı olmasıdır.

Bu çalışmada, Manisa ili ve ilçelerindeki hayvansal atık temelli büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlardan elde edilen biyokütle miktarından çıkan biyogazdan üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı potansiyeli bulunmuştur. Manisa ili ve

ilçelerinde biyogaz tesisinin kurulabileceği en uygun bölgeler tespit edilmiştir. Bu çalışma gerçekleştirilirken tüm veriler bir matematiksel denklem olarak bilgisayar programına (Mathematica) öğretilmiştir. En uygun matematiksel model elde edilip, hatayı sıfıra yaklaştırılarak optimizasyon yapılmıştır. Bunun sonucunda Manisa ili ve ilçelerinde en uygun biyogazdan elektrik santralının kurulabileceği bölgeler Gölarmara, Salihli ve Ahmetli üçgeninde olduğu belirlenmiştir. Kullanılan Mathematica programı ile üretilebilecek en yüksek elektrik enerjisi miktarı optimizasyonlar sonucunda yılda 61 GWh olarak bulunmuştur.



2. GENEL BİLGİLER

2.1.Biyokütle ve Biyogaz Arasındaki İlişki

Biyokütle, yakıt veya endüstriyel üretim için kullanılabilecek, yaşayan mikroorganizmalardan elde edilen, depolanabilir, taşınabilir, dönüştürebilir, ekonomik ve fosilleşmemiş organik madde kaynaklarıdır. Genel olarak üç farklı yakıt türü vardır. Bunlardan ilki biyoetanoldür. Hammaddesi şeker pancarı, darı, mısır, buğday gibi tarımsal ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen ve benzinle belirli oranlarda harmanlanarak kullanılan bir yakıttır [12].

Biyodizel, petrol bazlı olmayan çevre dostu olan, enerji bitkilerinden veya hayvansal yağlardan kimyasal işlemlerle elde edilen, yalnız olarak ya da dizel yakıt karıştırılarak dizel motorlarda kullanılan bir yakıt türüdür [13]. Biyogaz ise; organik maddelerin anaerobik fermantasyonu sonucu ortaya çıkan gazların yanıcı bir karışımı olarak, renksiz, kokusuz, parlak mavi renkli bir gazdır [12].

Tablo 2.1. Biyogaz içindeki gaz karışımları [14]

Madde Adı	Formülü	Miktar (%)
Metan	CH ₄	60 - 70
Karbondiyoksit	CO ₂	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

Biyogaz içerisindeki gaz karışım olarak yukarıda tablodaki gibidir. Ama bu oranlar çevre koşullarına bazı etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Bazı gazların durumları reaktör içerisinde hava karıştığını gösterir. Bu gazlar azot, hidrojen ve karbondioksit gibi gazlardır. Bazı gazlar ise reaksiyona zarar verir. Reaksiyonun biyogaz konsantrasyonunun düşmesine sebep olurlar. Bazı gazlar ise jenaratörde korozyona neden olurlar. Bu yüzden sistemden ayrışmaları gerekmektedir.

Tablo 2.2. Biyogaz ve diğer yakıtların bazı özellikleri [15]

Yakıt	Isıl Değeri (kj/kg)	Yoğunluk	Hava-yakıt oranı (kg/kg)	Ateşleme Sıcaklığı (°C)
Doğalgaz	57500	0,83 kg/Nm ³	17,0	600
Metan	50000	0,72 kg/Nm ³	17,2	650
LPG	46000	0,54 kg / l	15,5	400
Propan	46300	2,02 kg/Nm ³	15,6	470
Bütan	45600	2,70 kg/Nm ³	15,6	365
Benzin	43000	0,75 kg / l	14,8	220
Motorin	42500	0,85 kg / l	14,5	220
Biyogaz (%60 CH ₄ %40 CO ₂)	18000	1,2 kg/Nm ³	10,2	650
Biyogaz (%65 CH ₄ %35 CO ₂)	21500	1,15 kg/Nm ³	11,1	650

Biyogaz ve diğer yakıtların genel özellikleri ise Tablo 2.2.'deki gibidir. Biyogaz, doğalgazın yerini tutabilir. Ama üzerlerinde küçük değişiklik yapılması

gereklidir. Tablo 2.2.'yi incelediğimizde yanıcı gazlara benzer özellik göstermektedir. Özellikle doğalgazın ısı değeri yani birim kütlesinin yanmasıyla verdiği ısı enerjisi en çok olan gazdır. Diğer gazlar içinde ısı değeri metan gazının fazladır. Biyogaz içerisinde metan gazı değişik oranlarda bulunur. Bu oranlara göre biyogazın ısı değerleri farklılık göstermektedir. Doğalgazın popüler olarak diğer gazlara göre tercih edilmesinin temel sebebi budur. Biyogaz genellikle elektrik ihtiyacı için kullanılır. Atıkları bertaraf ederek ülke ekonomisine katkı sağlanması istenir. Aynı zamanda gübre üretimi yaparak daha verimli tarımsal ürünlerin elde edilmesi istenir.

Bazı ülkeler saflaştırma yöntemlerini kullanılarak metan oranı yükseltip, hidrojen sülfürden biyogazı ayıştırmaktadırlar. Hidrojen sülfür yüksek oranda reaktif gaz içerdiği için konsantrasyonu düşürme eğilimi göstermektedir. Biyogaz reaksiyonlarında her zaman metan oranının fazla çıkması istenerek daha verimli ısı değeri elde edilmek istenir. Ama buna hidrojen sülfür engel olmaktadır. Hidrojen sülfürü ayıştırmak için desülfirizasyon ünitesi kullanılır. Desülfirizasyon ünitesinden geçen maddeler ayıştırılır. Çıkışta ise biyogaz ele etmiş oluruz.

2.2. Biyogaz Tarihi

2.2.1 Biyogazın Dünya Tarihi ve Gelişimi

Asurlular tarafından M.Ö. kullanılmaya başlanmıştır. Biyogaz teknolojisi varlığının bilinmesi ve kullanılması olan eski teknolojilerden biridir. M.S. 23-79 yılları arasında yaşayan Gaius Plinius tarafından, bataklıkların üzerinde titreyerek yanan alevlerden bahsetmiştir. Bataklık gazı toplayarak deneyler yapmıştır. Ünlü kimyager John Dalton yaptığı bataklıktan suyun toplandığı deneyin tablosu Manchester Art Galerisinde sergilenmektedir.

17. Yüzyılda kimyager Jan Baptista Van Helmont yanıcı gazların organik maddelerin bozunmasıyla elde edildiğini söylemiştir. 1682 yılında Robert Boyle, bitkisel atıkların ve hayvansal atıkların çürümesi sonucunda gaz üretiminin gerçekleştiğini ifade etmiştir. Alessendro Volta, 1776 yılında bozunan organik madde miktarı ile üretilen yanıcı gaz miktarı arasındaki ilişkiye ifade etmiştir [4].

1808 yılında İngiliz kimyager Sir Humpry Davy metan gazının, sığır gübresinin içinde oluşan anaerobik fermantasyon sonucu ortaya çıktığını kanıtlamıştır.

Amedeo Avagadro 1821 yılında metanı tanımlayarak, literatüre sokmuştur. İlk anaerobik çürütme tesisi Hindistan'ın Bombay şehrinde bir hastanede yapılmıştır. 1868 yılında Bechamp ve 1873 yılında Popoff, bakteriler sayesinde metan gazının üretildiğini söylemişlerdir. 1876'da Herter lağımdaki suyun eşit oranda karbondioksit ve metana dönüştüğünü söylemiştir. 1883-1884 yılları arasında sığır gübresinden yapılan çalışmalar sonucunda oluşan gazın hem aydınlatmada hem de ısıtmada kullanımını önermiştir. Atık su arıtma tesisi bu yolla 1895 yılında ilk kez İngiltere'de kurulmuştur. Daha sonra ısıtma amacıyla İngiltere sokaklarında lamba olarak kullanılmıştır. Cameron 1897 yılında, sisteme septik tanklar adını söylemiştir. Sistemin patentini alarak, mühendislik açısından geliştirmiştir [4, 16].

Almanya'da Imhoff 1906 yılında iki kademeli anaerobik arıtma tesisi kurmuştur. 1907 gaz motoru yardımıyla biyogazdan enerji üretimi sağlamıştır. 1920-1930 yılları arasında Buswell ve arkadaşları sistemin kimyasını inceleyip, sistemin anlaşılmasını sağlamıştır. 1947 yılında çürütmeye etken olan mikroorganizmaların varlığı ortaya çıkmıştır [16].

Almanya'da ilk büyük tarımsal tesis 1950 yılında faaliyete başladı. Petrol fiyatların 1970'lerde yükselmeye başlamasıyla birlikte alternatif enerji kaynağı olan biyogaz ilgi artarak ivme kazandı. Petrol rezervi az olan ülkeler kendilerine alternatif bir enerji kaynağı aramaya başladılar. Birçok Asya, Afrika, Latin Amerika ve Avrupa ülkelerinde biyogazın hızla büyümesi 1970-1980 yılları arasında gerçekleşti [17].

Çin'de ve Hindistan'da o dönemlerde nüfusun yarısından fazlası kırsal kesimlerde yaşamaktadır. 1980'lerde Çin hükümeti kırsal kesimde her ailede biyogaz kullanımını teşvik etti. 7 milyondan fazla tesis kuruldu. Çin 1980'lerin ikinci yarısından itibaren çoğu kentsel ve endüstriyel atıklarda arıtımı için biyogaz tesislerini kurup, teknolojik açıdan geliştirmeye başladı. O zamanki yetersiz artık ve artıklar, teknolojiye eksikler aksaklık olarak ortaya çıkmaya başladı. Böylelikle kırsal kesimlerde dağılım yavaşlamaya başladı. 1988'de Çin'de evlerde biyogaz arıtması olarak 4,7 milyon evde kullanıldığı rapor edildi [17]. 2000'de Tarım Bakanlığı kırsal alanda biyolojik olarak zenginleştirme projesini önerdi. Bu sayede evlere kadar girdi [18].

Islak biyokütle atıkların işlenmesi için biyogaz atık su tesislerinde geri kazanımı ve depolanması birçok ülkede çalışmalar giderek yaygınlaşıyor. Yemek yapmada, elektrik üretiminde, ısı üretmede ve atıkların geri dönüşümü konusunda birçok ülke biyogaz tesisleri kullanılıyor [19].

2.2.2 Biyogazın Türkiye Tarihi

Türkiye’de tarım ve hayvancılık faaliyetleriyle uğraşan kişi sayısı çoktur. Türkiye’de teknolojinin ve bilginin yetersiz olması biyogaz sektörünün gelişimine olumsuz etkimiştir. Bu yüzden ülkemiz bu teknoloji ile geç tanışmıştır. 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsünde başlamıştır. 1963 yılında başlatılan çalışmalarda Tarım Bakanlığı’na bağlı Topraksu Araştırma Enstitüsü bünyesinde 5 adet Eskişehir’de Enstitüde, 2 adeti Eskişehir’in köylerinde ve 1 adeti Çorum denetim istasyonundan olmak üzere 8 adet biyogaz tesisi kuruldu. Bunların bazılarında olumlu sonuçlar alınmasına rağmen, yönetimin biyogaza sıcak bakmaması, çalışmaları yönlendirecek kurumun olmaması, teknik eleman ve bu işlerle ilgili uğraşacak insanların yeterli eğitim almamış olmaması biyogaz sektöre uğratmıştır. Bir süre sonra yeterli verim almadığı gerekçesiyle terk edilmiştir. Yapılan uygulamalarda reaktör sıcaklığının istenilen seviyede tutulamaması nedeniyle istenilen verim alınamamıştır. Bu yıllarda çalışmalara ara verilmiştir [4].

Biyogaz tesisi inşaatı sırasında eğitim alınamamasından kaynaklanan inşaat hataları yapılmıştır. Tesis sahipleri, işletmeyi teknik bilgi yetersizliğinden dolayı işletememişlerdir. Tesis işletmecileri biyogaz bilgi seviyesi olan danışman kuruluş bulamamışlardır.

Günümüzde Türkiye de Üniversitelerin Teknoloji, Teknik Eğitim, Fen Edebiyat, Mühendislik Fakültelerinde ve Fen Bilimleri Enstitüsünde birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir [20].

2.2.3. Türkiye’de Yapılan Çalışmalar

Türkiye’de 1980-1986 yılları arasında Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü tarafından çalışmalar yapılmıştır. Biyogaz üretimiyle ilgili birçok temel bulgular elde edilmiştir. Aynı zamanda yapılan araştırma, eğitim, uygulama ve yayım çalışmaları başarıyla sonuç vermiştir. Bu enstitüde yapılan çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1. Sığır, Koyun, Tavuk Gübreleri ve Bunların Karışımından Elde Edilebilecek Biyogaz Verimleri: Fermantör sıcaklığı 30°C’de tutulup 1m³ biyogaz tesisinde yapılmıştır. Sığır, koyun ve tavuk gübreleri karşılaştırılması amaçlanmıştır. En yüksek biyogaz verimini tavuk gübresinde elde edilmiştir. Tavuk gübresinin reaktör içinde karışma girdiği durumlarda sistem sonucu açığa çıkan biyogaz verimi arttığı gözlemlenmiştir.
2. Ankara Koşullarındaki 12 m³ Kapasiteli Topraksu Tip A Biyogaz Tesisinin Sığır Gübresi Biyogaz Verimi: Araştırmada Çin tipi (sabit kubbeli) biyogaz tesisinde yürütülmüştür. Reaktör içerisindeki sıcaklığa müdahale edilmemiştir. Fermantör sıcaklığı 9°C’de biyogaz verimi 1,4 m³/gün, 20°C’de biyogaz verimi 5,9 m³/gün olduğu gözlenmiştir.
3. Ankara Koşullarında 28 m³ Kapasiteli Biyogaz Tesisinin Gaz Verimi: Çiftlik tipi ısıtılmalı ve gaz depolama tankı ayrı olan biyogaz tesisinde, karıştırma sistemlerinin karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır. Tesis sıcaklığı 20°C ile 30°C arasında tutulmuştur. Mekanik karıştırma uygulandığında 9,97-25,05 m³/gün babilgan yani kabarcık tüfeğiyle karıştırmalı uygulamada ise 7,64-14,56 m³/gün biyogaz elde edilmiştir.
4. Değişik Sıcaklıklarda Sığır ve Tavuk Gübrelerinden Elde Edilen Biyogaz Miktarları: Sığır ve tavuk gübrelerin değişik sıcaklıklardaki davranışları incelenmesi amacıyla test yapılmıştır. 9°C - 18°C - 27°C - 36°C değerlerinde sıcaklıklardaki test verileri elde edilmiştir. Bu sıcaklıklar aşağıdaki tabloda yer verilmiştir. 36°C Tavuk gübresinden 1266,2 L /m³ gübre elde edilmiştir. Tablo 2.3.’te görüldüğü gibi tavuk gübresinde hangi sıcaklıklarda olunursa olunsun en çok gübre tavuk gübresinde elde edilmiştir. Sıcaklık yükseldikçe hem sığır gübresi hem de tavuk gübresinde artış gözlemlenmiştir.

Tablo 2.3. Sığır ve tavuk gübrelерinin değişik sıcaklıklarda biyogaz verimi

Fermantör Sıcaklığı (°C)	Sığır Gübresi(L/m ³)	Tavuk Gübresi(L/m ³)
9	101,4	253,3
18	339,7	448,0
27	509,8	1008,9
36	686,0	1266,2

- Değişik Besleme Aralıklarında Sığır ve Tavuk Gübrelерinden Elde Edilen Biyogaz Miktarı: Fermantör sıcaklığı 30°C sabit tutularak aralıklarla hammadde eklemesi yapılmıştır. Her gün, üç günde bir, beş günde bir, yedi günde bir aralıkla besleme yapılmıştır. Sığır gübresinden en yüksek biyogaz verimini beş günde bir beslenen denemeyle 785,7 L/m³ alınmıştır. Tavuk gübresinden en yüksek biyogaz verimini her gün beslenen denemeyle 1099,7 L/m³ alınmıştır.
- 12 m³ Kapasiteli Biyogaz Tesisinde Tavuk Gübresinin Gaz Verimi: Fermantör sıcaklığı 5°C ve 19°C sıcaklıklar arasında gerçekleştirilmiştir. Tesisten 10°C sıcaklıkta 2,4 m³/gün, 15°C sıcaklıkta 4,8 m³/gün ve 19°C sıcaklıkta 6,9 m³/gün biyogaz elde edilmiştir. Görüldüğü gibi sıcaklık artıka biyogaz elde edilmesi artmıştır [21].

2.3. Biyogazın Özellikleri

Biyogaz havadan daha hafif bir gazdır. Açık mavi bir alevle yanar. Renksiz ve kokusuz bir gazdır. 1 m³ biyogazın sağladığı eşdeğerler şu şekildedir: Isı miktarı 4700-5700 kcal/m³, 1,46 kg odun kömürü, 3,47 odun, 0,62 litre gazyağı, 0,43 kg bütan gazı, 12,3 kg tezeğe eşdeğerdir. 1m³ biyogaz 4,70 kWh elektrik enerjisine, 0,66 litre motorin,0,75 litre benzin, 0,25 m³propan yakıt değerlerine eş değerdir [6].

2.4. Biyogaz Üretiminin Mikrobiyolojisi

Biyogaz organik maddelerin anaerobik fermentasyon biyolojik tepkimelerden oluşan bir süreçtir. Genel olarak hücreler anaerobik solunum gereği büyük, karışık zincirli, yüksek enerjili molekülleri yıkarak; küçük, basit zincirli, düşük enerjili moleküllere çevirmektir. Büyük moleküllerin yıkımı sonucunda ortaya çıkan yüksek enerjiyi hücreler, metabolizmada farklı amaçlar için kullanırlar.

Mikroorganizmaların beslenmesi için karbon ve enerji vazgeçilmez bir ihtiyaçlarıdır. Karbon hücre büyümesi ve bazı maddelerin sentezlenmesi için kullanılır. Enerji hücrelerin çoğalması ve metabolizmada harcanması için kullanılmaktadır.

Sülfat bakterileri ile metan bakterileri aynı substratı kullanırlar, Hidrojen konusunda sülfat bakterileri ile metan bakteri arasında yarış olur. Sülfat yüzünden dolayı anaerobik dengesizlikler gelişir. İlki metan bakterileri ile sülfat bakterilerin yarış içinde olmasıdır. İkinci en önemli sorun ise sülfat bakterilerin reaksiyon sonunda açığa çıkan hidrojen sülfürdür. Hidrojen sülfür reaksiyon içinde metandan fazla olması durumunda metan bakterilerini inhibe etmektedir. Kesikli, yarı kesikli ve sürekli beslemeli sistemlere göre hidrojen sülfür oranı değişmektedir. En yüksek olarak sürekli beslemeli sistemler dayanabilir. Eğer çok fazla kükürt bileşen içeren bir atıkla çalışılıyorsa, iki fazlı reaktörle çalışılması önerilir. Çünkü kükürt bileşenin bir kısmı ilk fazda giderilir. Olabildiğince giderilmesi gereklidir. Sistem kaldığı yerden ikinci fazdan devam etmektedir [4].

Biyogaz üretimi için kullanılan birçok çeşitli materyaller vardır. Bunlar, hayvansal atıklar, hayvansal atık gübreleri, bahçe atıkları, yemek atıkları, enerji bitkilileri, endüstriyel atıklar, deri tekstil endüstrisinden elde edilen atıklar, zirai atıklar, belediye atıkları, su atıkları, evsel atıklar, gıda endüstri gibi atıklar biyogaz atıkların kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu atıklar sayesinde depolanan biyogaz kaynakları içerisinde çeşitli büyük moleküllü yapılar bulunmaktadır [22]. Bu yapılar; karbonhidratlar, proteinler, yağlar, selüloz gibi değişik birçok madde içermektedir. Anaerobik fermantasyon ardışık olarak 4 aşamada gerçekleşmektedir. Hidroliz, asidojenez, asetojenez ve metanojenez adı altında gerçekleşmektedir [4, 23].

Hidroliz; karışık zincirli molekülerin basit zincirli moleküllere dönüşme aşamasıdır. Karbonhidratlar glikoza kolayca dönüşebilir. Ama Selüloz ve ligninin bozunma hızı düşüktür. Proteinler, aminoasitlere; yağlar ise yağ asitlerine dönüştüğü evredir. Çözünür formda olmayan moleküller, bu aşamayla birlikte çözünür formda olurlar. Hidrolik bakteriler düşük ph'dan ve ortamda bulunan oksijenden pek etkilenmezler [4].

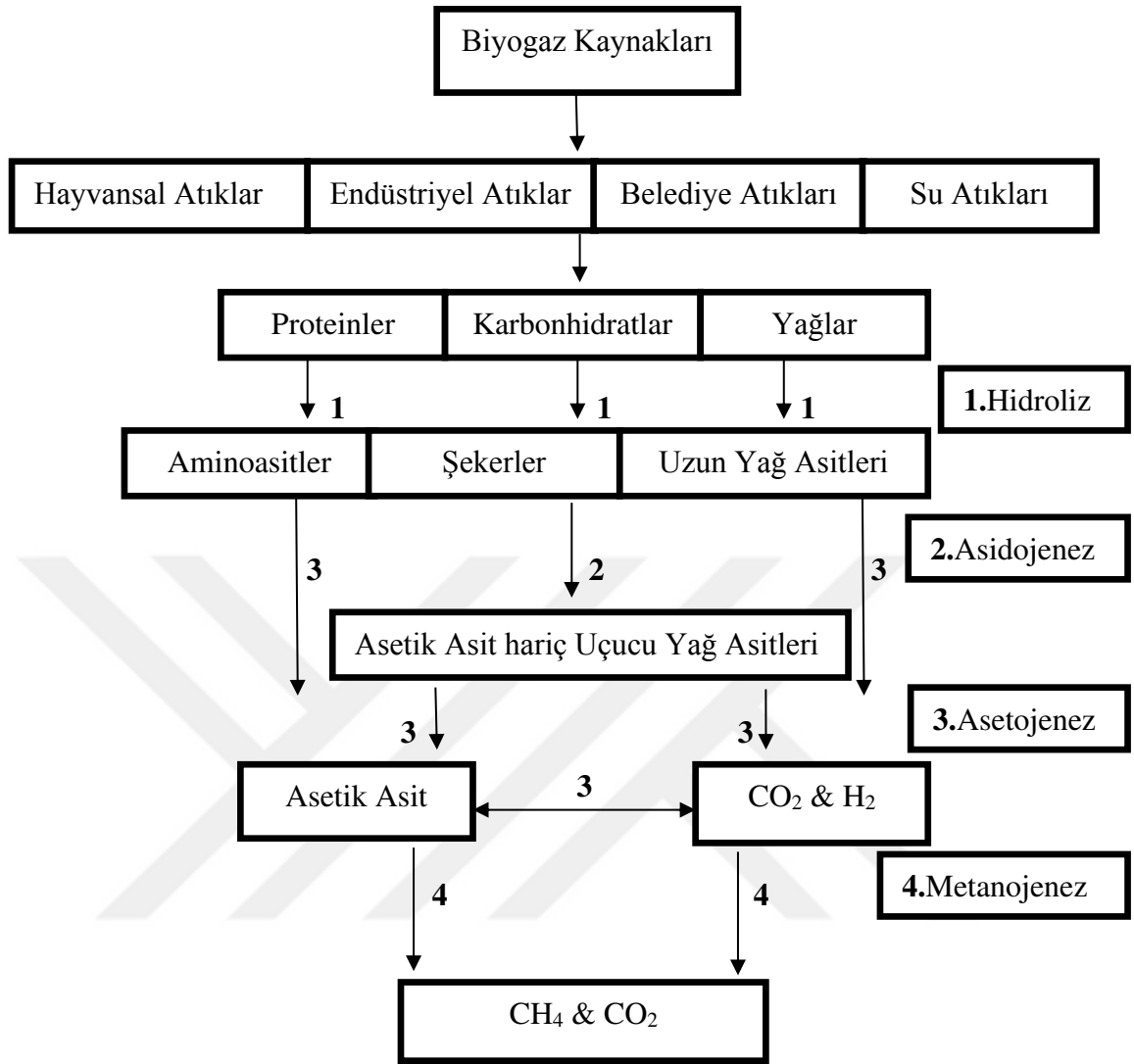
Asidojenez; asidojenik bakteriler tarafından değişmeden kalan maddelerin tekrar yıkıma alma evresidir. Organik maddeleri karbondioksit, hidrojen ve asetik asit gibi yapılara dönüştürür [22]. Kısacası asit üretim fazıdır. Anaerobik reaksiyonların en hızlı gerçekleştiği basamaktır. Çoğu araştırmacı asetojenez safhasıyla birlikte alsa da metabolik olaylarda farklı ara ürünler oluşmaktadır. Burada oluşacak reaksiyonlar sonucunda sistemin işleyişine kolaylık sağlamaktadır [16].

Asetojenez; asidojenez aşamasında ayrılmış basit yapılı maddeler, Asidojenik bakteriler tarafından karbonhidrata, hidrojene ve asetik asit çevirme aşamasıdır. Bu evre metanojenez aşamasına hazırlık yapmaktır. Bu faz kısaca asetik asit üretim fazıdır. Asetat üreten bakteriler ile metan üreten bakteriler arasında birbirleriyle ilişkiler içindedir. İki tür arası hidrojen transferi gerçekleşmektedir.

Metanojenez; bu evrede devreye giren bakteriler asetik asidi kullanarak, metan ve karbondioksit açığa çıkarırlar. Diğer taraftan ise karbondioksit ve hidrojeni kullanarak metan ve su açığa çıkarırlar. Asetik asitle elde edilen metan miktarı daha fazladır. Bu aşamadaki bakteriler belli sıcaklıklarda çalışırlar. Bu yüzden diğer bakterilerinin aksine çevresel şartlara karşı çok hassastırlar. Metan bakterilerinin düşük büyüme hızından dolayı en yavaş adımdır [4]. Bu evre hız belirleyici bir evredir [16, 22].

Şekil 2.1.'de görüldüğü gibi anaerobik sindirim sisteminin genel akış şeması aşağıdaki gibidir. Safhalar yanda hidroliz, asidojenez, asetojenez ve metanojenez evreleri belirtilmiştir.

Şekil 2.1.'de verilen anaerobik sindirim sistemi süreci mekanizmasında verilen oklar her bir safhayı anlatmaktadır. 1 numaralı oklar hidroliz aşamasını göstermektedir. Karbonhidratlar, proteinler ve yağlar hidrolize girerek daha küçük moleküllere dönüşmüştür. 2 numaralı oklar asidojenez, 3 numaralı oklar asetojenez ve 4 numaralı oklar metanojenez evrelerini göstermektedir.



Şekil 2.1. Anaerobik sindirim sistemi süreci mekanizması [22].

2.5. Biyogaz Üretimini Etkileyen Faktörler

Biyogaz verimin en iyi olabilmesi için oksijensiz bir ortamda olması gerekmektedir. Yani anaerobik bir ortam olmalıdır. Biyolojik proseslerde olduğu gibi, anaerobik fermantasyonda çevresel şartlar etkilidir. Bu çevresel şartlar ise; yükleme oranı, reaktörde bekleme süresi, karbon azot oranı, çalışma sıcaklığının, karıştırmanın, basıncın, ph ve alkanitenin, redoks potansiyelinin, uçucu yağ asitlerinin, amonyak etkisi, inhibitör ve toksik maddelerin etkisi gibi kimyasal şartlar vardır [4].

Biyogaz oluşum sürecini olumsuz etkileyen maddeler; amonyak, uçucu yağ asitleri, ağır metaller ve hidrojen sülfittir. Bazı maddeler ph düşürürler. Bazı maddeler

sistemin inhibe (engellenmesine) olmasına neden olurlar. Bu yüzden bu maddelerin ya sistemden uzaklaştırılması ya da kullanım oranını azaltılması gereklidir.

2.5.1. Yükleme Oranın Etkisi

Yükleme oranı; reaktöre beslenen organik madde miktarı yani uçucu katı madde olarak ifade edilir. Yükleme oranı artış reaktör yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Yoğunluk artışı bakterilerin transferini düşürmektedir. Düşük oranda yükleme oranı olursa, su üretimi artmaktadır. Uçucu katı maddeler artan su miktarıyla birlikte biyogaz üretimi azalmaktadır. Kolay parçalanabilen atıklar ile beslenen sistemlerde hidroliz ve asidojeniz aşamaları çok hızlı geçilir. Çünkü kolay parçalanırlar. Sistemin hızlı olmasıyla metanojeniz fazına erişemeyen bakteriler, ilk adımda çıkan son ürün olan uçucu yağ asitleri birikir. Sonuç olarak asitler yüzünden pH düşer ve biyogaz verimi azalır. Metan üretimi azalır [4].

Yükleme oranı optimum oranın üzerine aşarsa inhibisyona neden olan uçucu yağ asitleri birikmektedir. Reaktörün dışına atılan bakterilerde kaçış artmaktadır. Uçucu yağ asitlerindeki artış pH ve alkaliteyi düşürmektedir. Reaktörde çıkan fermente ürünlerin içinde uçucu yağ asitlerindeki artış sebebiyle fermente ürünün kalitesi düşmektedir. Metan miktarı azalmaktadır. Bu yüzden biyogaz üretiminin verimi düşürmektedir [24].

Dalgacı bir katı madde miktarı ile beslenen bir biyogaz reaktörünün çıkışında üretilen biyogaz miktarı da dengesiz olur. Bu yüzden biyogaz veriminin belirlenmesindeki en önemli etken atığın miktarı ve cinsidir. Sisteme eklenen atık veya artıkların belli bir oranda veya belli bir şekilde eklenmesi gereklidir. Bu da sistemin beslemesine göre reaktör kısmında anlatılmaktadır [25].

Yükleme oranı, birim reaktör hacmine verilecek olan uçucu katının ölçüsüdür. Uçucu katı yerine kimyasal oksijen ihtiyacı da kullanılmaktadır. Eğer bekletme süresi ve katı miktarı biliniyorsa yükleme oranı da buna bağlı olarak hesaplanır [4, 25].

Katı madde oranı çok düşük olursa, katının çökmesi söz konusudur. Eğer katı madde oranı çok yüksek olursa, katı maddenin çok olacağından gaz çıkışının engellenmesiyle karşılaşır. Besleme materyalinin %8-13 arasında toplam katıya sahip olması için biyogaz üretimi için uygun olmaktadır. Toplam katı madde organik

materyalin 104 °C 'da susuz kaldıktan sonra kalan kısımdır. Toplam katı madde oranının bilinmesi gereklidir. Katı madde oranı bilinmesi reaktörün tasarlanması için gereklidir. Katı madde oranı sabit olmalıdır. Çünkü dalgalı bir katı madde oranı varsa çıkışta elde edilen biyogaz gaz çıkışı da buna bağlı olarak dalgalı olur. Bu istenmeyen bir durumdur. Uçucu katı madde miktarı fermente olmaya uygun olan kısımdır. Bu uçucu katı maddenin de bilinmesi gereklidir [4].

2.5.2. Reaktörde Bekletme Süresinin Etkisi

Reaktörde bekletme süresinin etkisi hidrolik bekletme süresi ve katı madde bekletme süresi olmak üzere ikiye ayrılır.

Organik maddelerin biyogaz reaktör içinde kaldığı süre olarak ifade edilir. Bekletme süresi; atığın türü, katı madde miktarı, tanecik boyutu, içerisinde su miktarı, sıcaklığa ve prosesin türüne göre değişiklik gösterir. Sıcaklık bölgelerine termofilikte en kısa, mezofilikte biraz daha uzun ama psikrofilik bölgede ise sıcaklık çok düşük olduğu için bekleme süresi ise daha uzundur. Bazı yapıları selüloz gibi maddelerin yapıların geç sindirimi olduğu için bu maddelerin reaktörde bekleme süresinin uzun tutulması gerekmektedir. Atıkların depolimerize olması ve beklenirken metan üreten bakterilerin hazırlanması için geçen süredir. Yüksek bekleme süresi atıklar daha iyi giderilerek reaktörden uzaklaşır.

Bekletme süresi kısa olursa, atık madde tamamen parçalanmadan atılır. Metan üreten bakteriler çoğalma için yeterli zaman ve substratı bulamaz. Biyogaz verimi düşer. Bekletme süresi uzun olursa da biyogaz oluşumu aksar. İstenilen gün yerine daha uzun sürede biyogaz elde edilir.

2.5.3. Karbon / Azot Oranın Etkisi

Karbon ve azot anaerobik solunum yapan bakterilerin büyümesi, gelişmesi ve çoğalması için gerekli olan enerji kaynağını sağlayan elementlerdir. Bunun dışında fosfor ve kükürt gibi elementlere de ihtiyaç duymaktadırlar. Karbon bakterilerin enerji ihtiyacı için gereklidir. Karbonun en önemli enerji kaynağı karbonhidratlardır. Karbonhidratların yanında selüloz, nişasta, glukoz, heksoz, pentoz gibi şeker türevleri de gelmektedir. Literatürde karbon oranı yerine toplam organik karbon ya da kimyasal oksijen ihtiyacı da verilmektedir.

Azot ise anaerobik bakterilerin gelişimi, çoğalması ve yeniden üretilmesi için gerekli olmaktadır. Azotun kaynağı protein, amonyak ve nitrattır. Azot, proteinlerin, aminoasitlerin sentezlenmesi için gerekli elementi sağlar. Amonyaka dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini karşı etki göstererek, pH düşmesinin önüne geçerek dengede kalmasını sağlar. Bu yüzden metan oluşturan bakteriler için oldukça önemlidir.

Azotun azlığı hücresel gelişimi engellediği için biyogaz verimini düşürür. Sistemin yavaşlamasına neden olur. Yavaşlayan sistemin verimi düşer. Karbon / Azot oranının yüksek olması bakteri için protein oluşumu ve enerji için gerekli olan maddelerin sentezlenmeyeceği sonucu çıkar.

Azotun çok olması durumunda amonyak birikimine neden olur. Bazik etki olduğu için pH değerini yükseltmeye başlar. Yükselen pH nedeniyle sistem inhibe olur. Fermente gübrenin kalitesini de düşürür. Sonuç olarak kötü kokulu, yanmaya gaz elde edilir. Karbon / Azot düşük olması da bu etkiyi sağlar. Bu yüzden karbon / azot oranı önemlidir.

Organik maddeler karbon oranı bakımından zengin ve azot bakımından zengin olmak üzere ikiye ayrılırlar. Karbon /azot grafiğinde yola çıkarak sığır gibi geniş getiren hayvanlarda azot daha az bulunur. Çünkü midelerindeki sindirim sırasında azotu bakteriler kullanır. Kümes hayvanlarında tablo 2.4' de görüldüğü gibi karbon oranı fazladır. İstenen ideal verime yakındır. Karbon azot oranının genel olarak 16:1 ile 25:1 arasında olması istenir. Şekilde görüldüğü gibi insan idrarı ve insan dışkısının azot oranı fazladır. Buradan da evsel atıklarda azot oranı yüksek maddeler ortaya çıkmaktadır. Karbon azot oranında karbon eğer az ise yerine ağaç yaprakları ve samanla karbon oranını artırmaktadır. Taze gübrelerdeki nem oranı idrar ve kanda daha fazladır.

Tablo 2.4. Organik maddelerin karbon / azot oranı [26]

Gübre Türü	Karbon Kuru Oranı %	Azot Kuru Oranı %	Karbon- Azot Kuru Oranı %	Taze Gübrelerdeki Nem Oranı %	Su ile Seyreltilme
Sığır Gübresi	30	1,66	18	80-85	1:1
Koyun Gübresi	83,6	3,8	22	75-80	1:1
Kümes HayvanGübresi	87,5	6,55	14	70-80	1:3
Domuz Gübresi	76	3,8	20	75-80	1:2
At Gübresi	33,4	2,3	15	80-85	2:3
Kaz Gübresi	54	2	27	70-80	2:3
Güvercin Gübresi	50	2	25	70-80	1:3
İdrar	15	15	1	90-95	
Kan	36	12	3	90-95	
Balık Atığı	56	7	8	55-75	
Kesimhane Atığı	64	8	8	55-75	
Çiftlik Gübresi	42	3	14	75-80	
İnsan Dışkısı	48	6	8	50-70	
İdrarlı İnsan Dışkısı	70	7	10	50-70	3:7
Patates Kabuğu	37,5	1,5	25	50-60	
Mutfak Atığı	62,5	2,5	25	5-15	
Ekmek	50	2	25	50-60	
Gazete	40	0,05	800	5-15	
Taze Çim	48	4	12	40-60	
Yulaf Samanı	50,4	1,05	120	20-40	
Pirinç Samanı	18	0,3	60	20-40	
Yapraklar	55	1	55	25-40	
Yer Fıstığı Kabuğu	40	2	20	25-40	
Soya Fasulyesi Sapı	64	2	32	25-40	
Ağaç Yaprakları	75	1,5	50	40-60	

Gübre Türü	Karbon Kuru Oranı %	Azot Kuru Oranı %	Karbon- Azot Kuru Oranı %	Taze Gübrelerdeki Nem Oranı %	Su ile Seyreltilme
Şeker Kamışı	45	0,3	150	25-40	
Soya Fasulyesi	17,5	3,5	5	10-15	
Pamuk Tohumu	12,5	2,5	5	10-15	
Hardal	39	1,5	26	10-15	

2.5.4. Çalışma Sıcaklığının Etkisi

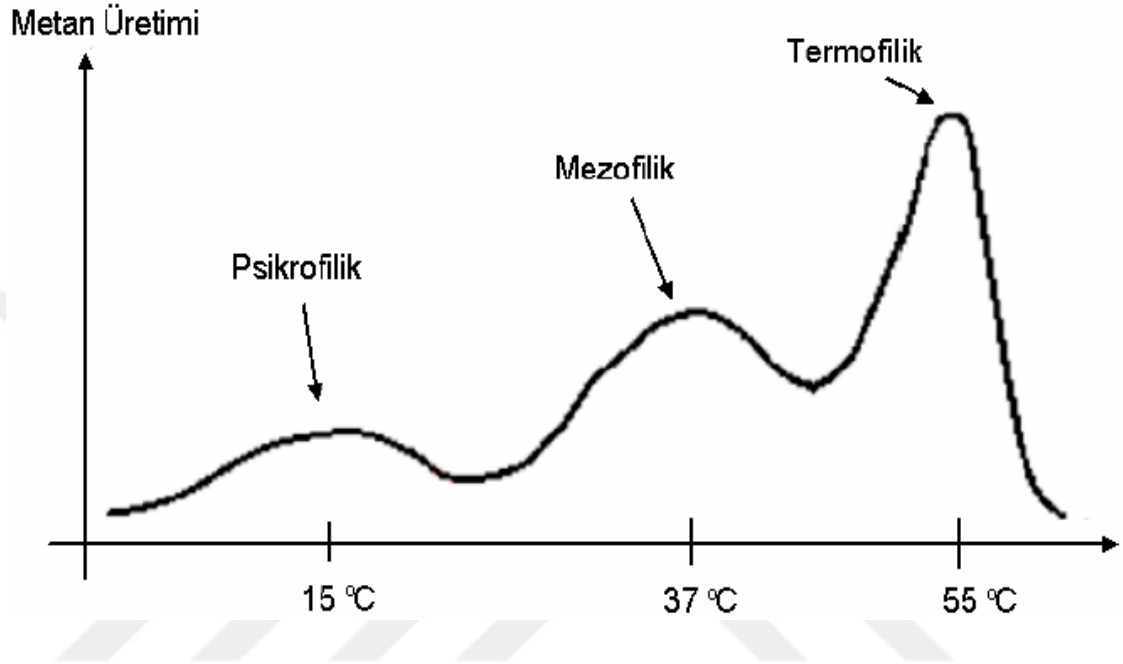
Bakterilerin ve enzimlerin metabolik faaliyetleri ortamın sıcaklığa bağlıdır. Yüksek sıcaklıklara kadar yaşayabilen metan bakterileri bulunmuştur. Prosese katılacak olan mikroorganizmaların faaliyetlerin sağlaması, büyümesi, üremesi, substratı çözünürlüklerini ve ürün oluşumu için farklı sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyarlar. Bu yüzden optimal bir sıcaklık belirlenir. Optimal sıcaklığın dışına çıkılması mikroorganizmaları geri dönüşü olmayan zararlar verir. Sonuç olarak biyogaz üretim süreci sekteye uğrar [14].

Sıcaklıklardaki değişimler hem metanojenik bakterileri hem uçucu asitleri oluşturan mikroorganizmaların performansını büyük ölçüde etkiler [22]. Optimum sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklıkta sistem koşulları genellikle düşmeye başlar. Uçucu yağ asitleri konsantrasyonu artmaya başlar. Bunun sonucunda ph değişimine neden olur. Ph değişimi metanojenik bakterilerin performansını doğrudan etkiler. Daha yüksek bir sıcaklık amonyum etkiler. İstenmeyen köpük ve koku oluşumuna neden olur [26, 28]. Anaerobik fermantasyonda atık maddelerin ve atık suyun türüne, içerdikleri iyonlara, ph seviyesine bağlı olarak mikroorganizmaların 3 çeşit çalışma bölgesi vardır [4, 22].

- 1- Psikrofilik Fermantasyon (5-18°C): Bu sistemlerde çürütme hızı yavaş olup, üretim az miktardadır. Bekletme süresi oldukça uzundur [29]. Bu sıcaklıkta bakteriler optimum aktiviteye sahip enzimler üretirler. Hidrojen 4 °C sıcaklıklarda da üretilebilir. Bu soğuk bölgeler için umut verici bir yöntemdir [30].
- 2- Mezofilik Fermantasyon (24-45°C): Tam ölçekli anaerobik fermantasyonlarda çoğu bu ortamda çalışır. Genel olarak 35°C sıcaklık en

uygun koşullarda çalışması için gerekli sıcaklıktır. Bekletme suresi 20-40 gun arasında değişmektedir [4, 30].

- 3- Termofilik Fermantasyon (45-65°C): 55°C bu koşullarda en ideal sıcaklıktır. Burada rtme hızı çok yüksektir. Bu yüzden bekletme suresi diğer sıcaklıklara göre oldukça kısadır [4, 29, 30].



şekil 2.2. Metan retimi ve sıcaklık bölgeleri arasındaki ilişki [24]

şekilde 2.2.'de görüldüğü gibi psikrofilik bölge için optimum sıcaklık 15°C civarındadır. Bunun altında ve üstüne çıkıldıkça metan üreten bakterilerin üretimi düşmektedir. Mezofilik bölge için 35-37°C arasında sıcaklık vardır. Bu bölgenin altına ve stene de çıkıldıkça metan üreten bakterilerin üretimi düşmektedir. Termofilik bölge içinde optimum sıcaklık 55°C civarındadır. Bu bölgenin üstüne çıkıldıkça ani olarak metan üretimi düşer. Asit üreten bakteriler daha hızlı asit üretmesine ve reaktörde daha fazla asit birikmesine neden olur. Asitlendirmeyle birlikte uçucu yağ asitlerindeki artış sistemin pH düşürerek sistemin inhibe olmasına neden olur. Sıcaklık optimum sıcaklığın altına düşürse reaktöre alınan maddelerle birlikte bakterilerde dışarı atılır. Bekletme suresi düşük sıcaklıkta oldukça uzun olduğu için reaktörün dışına kaçış bakteriler açısından artacaktır.

Termofilik reaktörler, Mezofilik reaktörlere göre daha çok biyogaz üretirler. Reaktöre daha küçüktür. Gbrelemede önem taşıyan yabancı ot giderimi daha fazla,

patojen mikroorganizmaların yok edilmesi de daha iyi sonuç vermektedir. Daha pahalı teknolojiye sahiptirler. Kontrol edilmesi güç ve istenilen optimum sıcaklığı elde etmek zordur. Tesis işletme ve kurum maliyeti pahalıdır [4].

Sıcaklığın artması ile organik bileşiklerin mikroorganizmalara geçişini hızlandırmaktadır. Sıvı-gaz karışımının göz çözünürlüğünü azaltmakta, vizkoziteyi düşürerek daha az karıştırma sağlamaktadır. Kimyasal ve biyolojik reaksiyon hızları sıcaklıkla beraber giderek artmaktadır. Bekletme süresi kısalmaktadır. Atık işlenmesinin sıcakla beraber fazla olduğundan dolayı reaktörün hacminin daha küçük olmasını sağlamaktadır.

2.5.5. Karıştırmanın Etkisi

Karıştırma, besleme materyalin bakterilerle temasını sağlanması, materyalin dibe çökmesini ve köpük oluşmasını engellemek amacıyla yapılmasıdır. Karıştırırken bakterilerin her tarafa homojen dağılımın sağlanması, yüzeyde katman oluşumun önlenmesi, sıcaklığın eşit yayılması, sistem içerisindeki ölü bölgelerin azaltılarak tekrar sisteme dahil edilmesi için gereklidir. Biyokütlenin fermantasyonun hızlı olması sağlanır. Ayrıca büyük parçalı yapıların öğütülerek küçük parçalı yapılara dönüşmesi gereklidir. Reaktör içerisindeki yapının çamur bulamaç kıvamında olması istenir. Topraklaşma olursa biyogaz reaktörü içerisinde tıkanıklara yol açar. Sisteme tekrar hammadde girişine engeller. Topraklaşma istenmeyen bir durumdur. Topraklaşma varsa biyogaz verimi düşer.

Karıştırma sistemleri kendi aralarında farklı yapılara göre üç değişik karıştırma sistemi vardır. Hidrolik karıştırma, dahili pompalı ve harici pompalı olmak üzere ikiye ayrılır. Mekanik karıştırma, pervaneli, helezonlu ve paletli olmak üzere ikiye ayrılır. Biyogazlı karıştırma ise, biyogazın kaldırma kuvvetiyle karıştırma ve biyogazın difüzyonlar karıştırma olmak üzere ikiye ayrılır. Yavaş bir şekilde karıştırma, hızlı ve verimli bir reaksiyon sağlamaktadır. Yeterli karıştırmanın örneklenemesi için karışımın farklı yerlerinde test edilmelidir. Homojen dağılım sağlanması test edilmelidir. Fazla ve hızlı karıştırma da ise bakterilerin birbirleriyle ilişkileri kaybolmakta sonuç olarak verim düşmektedir. Günde en ideali dört saatte bir karışımdır. Mekanik ekipman reaktörün dışında olursa bakım ve tamiri oldukça kolay olmaktadır.



Şekil 2.3. Bulamaç kıvamına gelmiş tank içi görüntü

2.5.6. Alkalinite ve pH Etkisi

Alkanite ve pH biyogaz üretim tesislerinde sistemin en önemli parametrelerden biridir. Eğer asidik bir ortam sağlanırsa ph düşer bazik ortam sağlanırsa pH yükselir. Bunun dengede tutulması gereklidir. Anaerobik sistemlerde, birçok faktörün toksik etkisinin artırılıp azaltılmasında önemlidir. Her bakterinin değişik pH değerlerinde çalıştığı gözlenmektedir. Buna uygun pH dengelemek oldukça zordur. Bunun yerine optimum pH aralığı belirlenmelidir. Çok fazla yeni maddenin eklenmesi veya uçucu asidin eklenmesi pH değerini düşürür. Bu da otomatik olarak metan üreten bakterilerin çalışmasını engeller. Asidik pH ise asit üreten bakteriler için uygundur. Fakat bu aralık metan üreten bakteriler için uygun değildir.

H_2 ve CH_4 , pH fermantasyonunu dengelemek için kritik bir stratejidir. Çünkü optimum olarak hidrojenik bakteriler pH değeri 5.5-6.7 arası, metanojenik bakteriler ise pH değeri 7.0-7.2 arasında çalışmaktadır [31]. Sistemde birçok bakteri bulunmaktadır. Bu bakteriler için ortak bir ph değeri yakalamak çok zordur. Ph değeri 6,8 en uygun olarak belirlenmiştir. Eğer pH 6.1'den düşük ve 8.1'den büyük ise düşük bir metan üretimi meydana gelmektedir. Metan üretimi için pH 6.8 iken metan üretimi için en kısa yaklaşık olarak dokuz gün civarındadır [32]. Sistemde uçucu yağ asidi oluşu müddetçe metanojenik bakteriler tarafından tüketilecektir. Eğer metan üreten bakteriler için optimum değerinin altına düşerse, sistemde uçucu yağ asitleri birikmeye başlayacaktır. Biriken uçucu yağ asitleri yüzünden sistemin pH asidik değerlere

kayarak düşmeye başlayacaktır. Böylece hidroliz aşaması devam edecektir. pH değeri yükselirse metanojenik bakteriler tarafından sistem sekteye uğrayacak. Tepkimeye giremeyen sistem dengesi bozularak, kendini inhibe etmeye başlayacaktır [4].

Anaerobik Fermantasyon esnasında, pH seviyesinin 6'ya kadar düştüğü gözlemlenmektedir. Bu evre asidojen evresidir. Sonraki evrelerde metan üretimi aşamasında amonyum değişimine paralel olarak pH değerinin yükseldiği gözlemlenmektedir. pH değerindeki dalgalanmalar büyükbaş hayvan atıklarından biyogaz üretimi olan sistemlerde az görülmektedir. Biyogaz üretiminde görülen sarı renk sistemin asidik bir ortama kaydığına göstergesidir. Bunun dengelenmesi için pH yükseltici işlemler uygulanmalıdır. Kül, kireç, sodyum karbonat eklenerek sistemi tekrar dengeye sokmaktadır. Sistemin pH derecesinin yükselerek baza kayması durumunda asit sisteme eklenmemelidir. Eğer asit eklenirse, hidrojen sülfür üretimin artmasına neden olmaktadır. Bu da sistem için istenmeyen bir durumdur. Hidrojen sülfürü sistem içinde desülfirizasyon yapıp kurtarılması gereken bir maddedir. Bu sistem için küflenmeye, oksidasyona neden olduğu bilinmektedir.

Sistemin asitleşmesi durumunda yapılması gerekenler:

- Sistemin pompalar yardımıyla beslemesinin durdurulması, metanojenik bakteriler tarafından sistemin içinde bulunan uçucu yağ asitlerin parçalanmasını beklemek,
- Sisteme su eklemek,
- Sistemin bazik tarafa kayması için kireç, kül, sodyum karbonat gibi maddeler eklemek,
- Sistem içerisinde bekletme süresini uzatmak,
- Sistemin reaktörün içinin komple boşaltılıp, sistemin tekrar başlatmaktır.

Alkalinite; pH'dan daha etkili alternatif bir yöntemdir. Alkalinite suyun asidi nötralize etme kabiliyetidir. Su içerisindeki iyonlar alkaliniteyi oluşturur. Bunlar; hidroksil, karbonat, bikarbonat iyonlarını kapsar. Olası değişimlerini düşüşleri ve yükselişleri önceden belirler. Alkalinite değişimleri pH'a yansır. Sistemin aside karşı tamponlanma görevinin bir ölçütüdür.

2.5.7. Basıncın Etkisi

Anaerobik fermantasyon süresinde genel olarak optimum basınç 1,17-1,96 kPa civarındadır. Bu basınç değerleri üzerinde metan üretimin zorlaşacağı belirtilmektedir. Fakat büyük reaktörlerde yüksek basınçlarda reaktörün alt tarafında kalan bakterilerin faaliyetlerini sürdürdüğü gözlenmiştir. Basınç değişimi toksik etki yarattığı gözlemlenmiştir. Basınç yükseldikçe metana göre çözünmesi daha kolay olan karbondioksitin sıvı içerisindeki konsantrasyonu artmaktadır. Bu yüzden sistem içerisindeki metan oranı da karbondioksit'e bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir [4].

2.5.8. Redoks Potansiyelin Etkisi

Kısaca olarak oksitlenme ve redükleme olarak adlandırılan elektriksel bir tepkimedir. Oksitlenme bir elektron kaybı, redükleme ise bir elektron kazanımı olarak adlandırılan bir tepkime türüdür. İndirgenme ve yükseltme tepkimesidir. Bir molekülün oksijenle tepkimesi sonucu veya hidrojenle tepkimesi sonucu elektron çıkması olayına denir.

Sistemin redoks potansiyelinin yüksek olması biyogaz üretim miktarını düşürmektedir. Bu da sisteme yanlışlıkla oksijen girdiğinin göstergesidir. Anaerobik fermantasyon sırasında sistemin pH'ındaki dalgalanmalar redoks ölçümlerine karşı erken uyarı verir [20].

2.5.9. Uçucu Yağ Asitlerinin Etkisi

Biyogaz sisteminin verimli bir şekilde kontrol edilmesi için uçucu yağ asitlerinin değişimini dikkatlice kontrol edilmesi gereklidir. Çünkü uçucu yağ asitlerindeki dengesizler sistem için her zaman sorun yaratabilir. Uçucu yağ asitlerindeki değişimler sistemin inhibe olmasını ya da sistemin içinde uçucu yağ asitlerin birikerek zamanla metan üretiminin azalmasına sebep olmaktadır. Uçucu yağ asitlerin ne kadar olacağı konusunda hala kesin bir yargıya ulaşılmamıştır. Bunlarla ilgili çalışmalar devam etmektedir.

2.5.10. İnhibitör ve Toksik Etkisi

Anaerobik fermantasyon sırasında sistemde bulunan bazı organik ve inorganik maddeler sistem içerisinden toksik etkisi yaratabilirler. Ağır metal malzemeler; çinko, kobalt, demir, nikel gibi malzemeler anaerobik fermantasyonu hızlandırırken, aynı oranlarda düşük sıcaklıkta toksik etkisi yaratırlar. Uzun zincirli yağ asitleri ve alkoller

de sistemde toksik etkisi yaratabilir. Bu yüzden anaerobik fermentasyon sonucu oluşacak olan metan üretiminin azalmasına neden olurlar. Anaerobik sistemlerde inhibisyon iki şekilde gerçekleşmektedir. Akut toksititede bakteriler yüksek bir dozda toksik maddeye maruz kalırlar. Kronik toksititede belli aralıklarla sistem toksik maddeye maruz kalırlar. Anaerobik sistemlerin inhibisyon maruz kaldığını toksik maddelerin durumuna göre anlamak mümkündür.

Karbon azot oranının 10'un altına düşmesi durumunda sistemin amonyak zehirlenmesine yol açmaktadır. Sistemde amonyak proteinlerin parçalanması sırasında üretilir. Amonyak artışının düşük seviyede olması durumunda biyogaz üretiminin artmasına sebep olmaktadır. Yüksek oranda olması durumunda ise sistemin inhibisyonuna neden olmaktadır. Amonyak miktarı sığır atıklarından düşük miktarda olmasına karşı tavuk atıklarında yüksek miktarda içermektedir. Domuz atığında ise yüksek miktarda azota sahiptir. Anaerobik fermentasyon süresince amonyak miktarının artmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden ön işlem yapılması önerilmektedir. Anaerobik fermentasyon sırasında amonyak miktarının yüksek seviyelere çıkması sistemin inhibisyonuna neden olmaktadır.

Yüksek katı ile çalışan sistemlerde, hidrojen sülfür ve amonyak etkisi olacağından sistemin inhibisyonuna neden olmaktadır. Böyle sistemlerde katı oranının azaltılarak daha çok bulamaç yapmak için sisteme su eklenmesinin yapılması gereklidir.

Hayvanlara verilen antibiyotiklerde anaerobik fermentasyon süresinde sistem için olumsuz etki yaratabilir. Metan üretiminin durmasına neden olmaktadır. Sistemin reaktör parçalarında galvanizm çelik kullanılırsa metan bakterilerin temasa geçip, ölmesine neden olmaktadır. Bu yüzden metan bakterilerin teması önlenmelidir [4].

2.5.11. Amonyak Etkisi

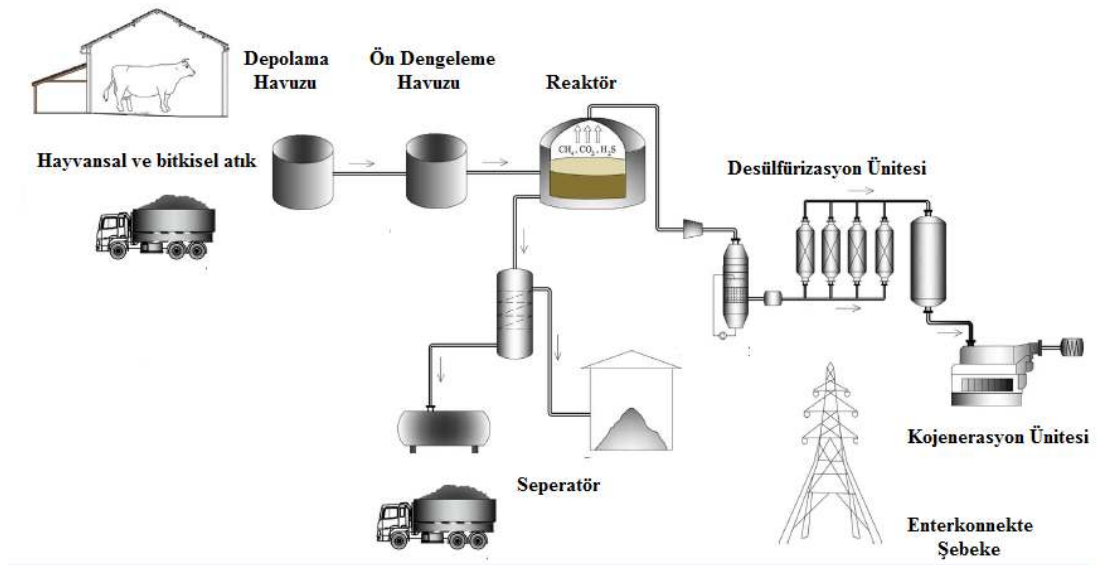
Bütün mikroorganizmalarda olduğu, anaerobik fermentasyonun gerçekleşmesini sağlayan mikroorganizmalar da azota ihtiyaç duymaktadırlar. Azot, amonyum ve serbest amonyak formunda hücre yapılarında ve genetik yapıyı oluşturmada kullanılmaktadır.

Amonyak ön tedavi işlemi eter gibi lignoselülozlardaki kimyasal bağları etkili bir şekilde parçalayabilir. Anaerobik fermentasyon sırasında mezofilik ortamlarda biyogaz veriminden %26,7 artış olduğu gözlemlenmiştir. Ön işlem gören maddelerde biyogaz miktarı artış gözlemlenmiştir [33].

Biyogaz bulamacı geleneksel olarak gübre olarak kullanır. Çünkü yüksek miktarda azot, fosfor ve potasyum içermektedir. Biyogaz bulamacının doğrudan toprağa kullanımıyla yüksek amonyum nedeniyle çevresel risklere neden olur. Özellikle kanatlı hayvanlarda patojen riski oluşturduğu için toprağa verilmesi önerilmemektedir. Çeşitli teknolojilerle birlikte toprağa kullanılacak biyogaz bulamacından azotu uzaklaştırmak veya yeniden kullanılmasını sağlamak gereklidir.

2.6. Biyogaz Sisteminin Elemanları

Biyogaz tesisleri genel olarak depolama havuzu, ön dengeleme havuzu, biyogaz reaktörü, seperatörler, dezülfürizasyon ünitesi, kojenerasyon enerji ünitesi gibi yapılardan oluşmaktadır.



Şekil 2.4. Biyogaz sisteminin elemanları

Bir işletmede atılan atıklar biriktirilerek depolama havuzuna gelir. Bazı yerlerde boru sistemi vardır. Bazı yerlerde kamyonlar vasıtasıyla gelir. Depolama havuzunda gelen atıklar dalgıç karıştırıcıyla karıştırılır. Gerekirse sisteme su verilerek bulamaç kıvama gelmesi sağlanır. Atıkların dibe çökmemesi istenir. Depolama havuzdan dalgıç pompa ile emilen atıklar ön dengeleme havuzuna iletilecektir.

Ön dengeleme havuzundan da sistem tekrar karıştırılarak atıkların dibe çökmesi engellenecektir. Burada debimetre yardımıyla gerekli ölçümler yapılarak ona göre atıkların gideceği yere karar verilir. Biyogaz reaktörüne ya da depolama havuzuna iletilir. Biyogaz reaktör içerisinde bulunan dalgıç karıştırıcılar sayesinde atıkların homojen dağılmasını sağlamak amaçlanır. Homojen karışımın çökmesini engellemek için karıştırıcılar vasıtasıyla reaktörün içinde bulunan sistem karıştırılır.

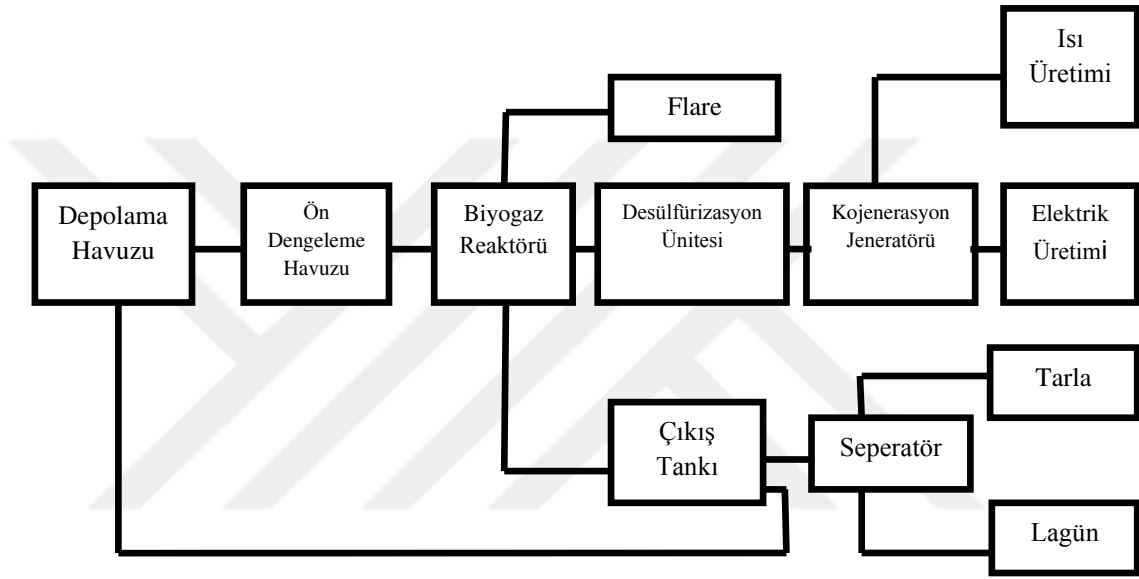
Biyogaz reaktörünün ısıtılması için sıcak su geçen borularla sağlanır. Her bakterilerin belirli bir çalışma aralığı vardır. O ortama göre çalışma aralığı ayarlanır. Duruma göre psikrofilik, mezofilik, termofilik sıcaklıklarda olur. Biyogaz reaktörünün içindeki borular yardımıyla çürütülmüş atıklar iki ayrı hatta verilir. Birinci hat atıkları depolama havuzuna diğer hat ise ön dengeleme havuzuna iletilir.

Depolama havuzundaki gelen atıklar seperatör besleme pompaları yardımıyla gelen atıklar debimetreye ölçüldükten duruma göre ayrı hatta verilir. Çıkış tankına gelen atıklar Bunlardan ilki atıklardan suyu almak üzere mevcut seperatörlere veya ön dengeleme havuzuna iletilir.

Seperatörlere giden atık gübre kamyonlara doldurulur. Kamyonlar yardımıyla tarlalara gübre olmak üzere götürülür. Oluşan süzüntü suları ise borular yardımıyla lagünlere iletilir. Ön dengeleme havuzunda bekletilen atıklar depolanmak üzere bekletilir. Gerekli beklemeden sonra sisteme tekrar dahil edilir.

Biyogaz reaktörünün içerisinde karıştırıcılar ve pompalar mevcuttur. Pompalar yardımıyla gelen atıklar biyogaz reaktörünün içerisine verilir. Biyogaz reaktörü içerisinde karıştırıcıların yardımıyla atıkların karıştırılarak bakteriler yardımıyla tepkimeye girmesi istenir. Tepkime sonucunda biyogaz açığa çıkar. Biyogaz reaktöründe üretilen biyogaz, biyogaz balonunda toplanır. Biyogaz balonuna hava basılarak balonun şişik kalması sağlanır. Gaz balondan alınan biyogaz, köpük tutucudan geçirilerek biyogaz içerisindeki köpük uzaklaştırılacaktır. Biyogaz içerisindeki sülfür gazının giderimi için desülfürizasyon ünitesine iletilir. Hidrojen sülfür gazı demiri parçalama özelliği vardır. Bu da sistem içerisinde bulunan birçok aksama zarar verir. Bunların en başında gelen kojenerasyon jeneratörüdür. Daha sonra nem tutucudan geçen biyogaz, nem uzaklaştırılıp yakılmak üzere basınçlandırılarak kojenerasyon ünitesine gönderilir.

Kojenerasyon ünitesinde gelen biyogaz yakılarak, ısı enerjisine ve elektrik enerjisine dönüşür. Kojenerasyondan elde edilecek ısı enerjisi sıcak su olarak kullanılır. Sıcak su pompası yardımıyla biyogaz reaktörünün içinden geçen plastik borularla reaktörün ısıtılmasını sağlar. Elde edilen elektrik enerjisi de enterkonnekte sisteme verilebilir veya istenirse işletme içinde de kullanılabilir. Eğer üretilen biyogaz kojenerasyon ünitesine gönderilmesi istenmiyorsa biyogaz fanı ile atık gazı yakma bacasıyla birlikte atmosfere verilecektir.



Şekil 2.5. Biyogaz kontrol blok diyagramı

Şekil 2.5. Bir biyogaz elde edilmek için bir blok diyagram paylaşılmıştır. Flare; eğer istenmeyen bir miktarda biyogaz elde edilirse metan gazının elektrik veya ısıya dönüştürmek için kullanılmayacaksa metanı yakmayı sağlayan baca şeklinde bir sistemdir. Ve atmosfere yakıldıktan sonra gaz verilir. Isı üretildikten sonra sıcak su ceket pompasıyla eşanjöre veriyor. Eşanjörden çıkan su sekonder pompa yardımıyla sisteme veriyor. Reaktörün içinin ısınmasını sağlıyor.

2.7. Biyogaz Reaktörleri

Biyogaz tesislerinde çalışmalar uzun yıllardır devam etmektedir. Tesisleri geliştirmenin amacı en kısa sürede nasıl biyogaz elde edilir. Daha fazla biyogaz nasıl elde edilir. Eklenecek maddelerin miktarı ne olmalıdır gibi sorulara cevap

aranmaktadır. Bu yüzden besleme yöntemleri ve reaktör üzerinde çalışmalar yapılmaya devam etmektedir.

2.7.1. Biyogaz Reaktörleri Beslemelerine Göre Türleri

Besleme yöntemlerine göre biyogaz reaktörleri; sürekli, yarı kesikli ve kesikli besleme tipi olmak üzere üçe ayrılır.

2.7.1.1. Sürekli Beslemeli Biyogaz Reaktörü

Sürekli beslemeli reaktöre, düzenli aralıklarla hammadde eklemesi yapılır. Düzenli aralıklarla da boşaltması sağlanır. Besleme sürekli olduğu için reaktör çıkışından elde edilen biyogaz miktarı hep aynı kalmaktadır. Sürekli çalışma vardır. Verimin yüksek olması önemlidir.

2.7.1.2. Yarı Kesikli Beslemeli Biyogaz Reaktörü

Yarı kesikli beslemeli biyogaz reaktörü için, reaktör tankı başlangıçta yarıya kadar doldurulur. Fermantasyon süresi boyunca geriye kalan kısım için sürekli hammadde eklemesi yapılır. Fermantasyon oldukça eklenmeye devam edilir. İşlemin sonunda tankın içi komple boşaltılır. Sonra reaktör tankının içi temizlenip yeniden yarıya kadar hammadde doldurulur.

2.7.1.3. Kesikli Beslemeli Biyogaz Reaktörü

Kesik beslemeli biyogaz reaktöründe ise, hammadde reaktör tankın içerisine bir kere koyulur. Biyogaz çıkışı bitene kadar hammadde ekleme işlemi yapılmaz. Tekrar reaktör tankın içerisine hammadde konuluncaya kadar geçen zaman boyunca biyogaz üretilmez. Günlük bakım oldukça kolaydır.

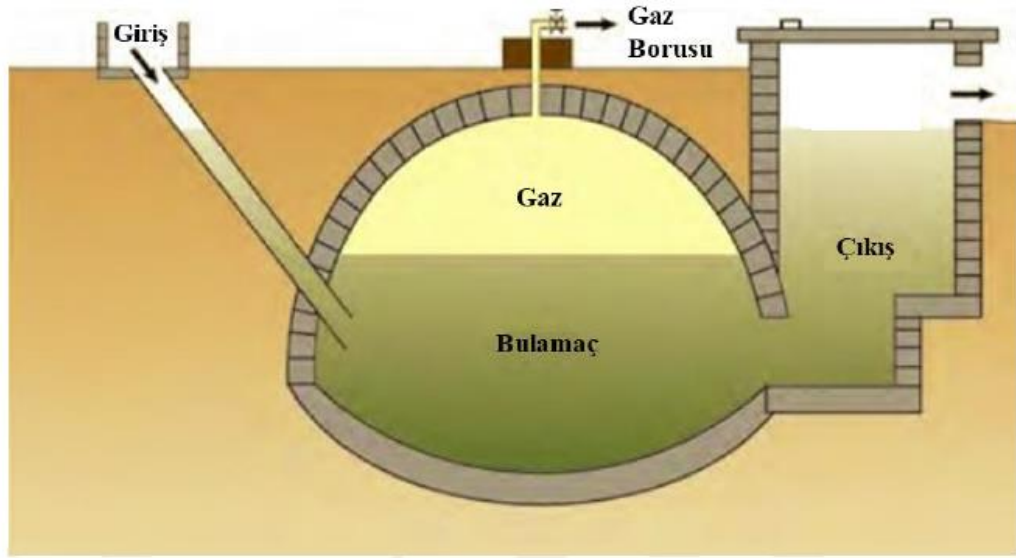
2.7.2. Reaktör Tasarımına Göre Biyogaz Tesisleri

Reaktör tasarımına göre ise; sabit kubbeli (Çin Tipi), hareketli kubbeli (Hindistan Tipi) ve membran tipi (Tayvan Tipi) olmak üzere üç gruba ayrılır.

2.7.2.1. Sabit Kubbeli Biyogaz Reaktörü

Sabit kubbeli biyogaz reaktörü 1936 yılında Çin’de tasarlanmıştır. Diğer bir deyişle adı Çin tipi reaktör olarak adlandırılır. Sabit kubbeli çürütücü yerin altına inşa edilmiş, kubbe şeklinde örtülmüş reaktördür. Üst reaktör boşluğuna kadar toprakla örtülmelidir. Bu reaktör çimento ve tuğladan yapılır. Duvarları gaz geçirmeyecek

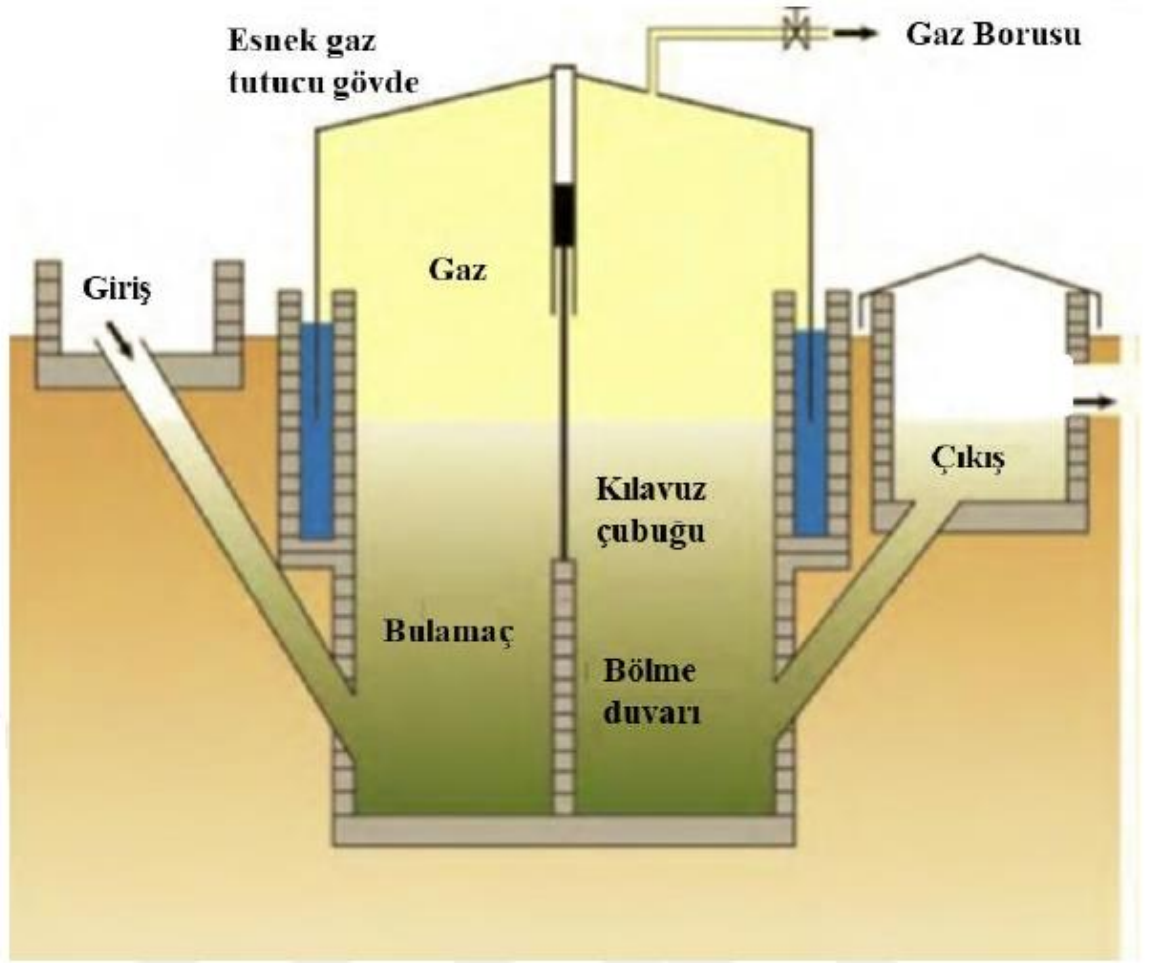
şekilde kaplanır. Reaktörde oluşan gaz, üst kısımda saklanır. Eğer gaz basıncı atmosfer basıncını geçerse gaz basıncı, karışımı çukura doğru iter. Gaz çıkışı gerçekleşirse bir miktar karışım reaktöre dolar. Gazı alınmış karışım sistemin dibine çökerek, sistemin dışarısına atılır. Tesis içinde kullanılan materyalin akışkan ve homojen olması önemlidir. Bu tesislerde çelik yapıya gerek olmadığından, çelik depo masraflarından tasarruf elde edilmiş olunur. İlk maliyetleri oldukça düşüktür [34, 35].



Şekil 2.6. Sabit kubbeli reaktör [34]

2.7.2.2. Hareketli Kubbeli Biyogaz Reaktörü

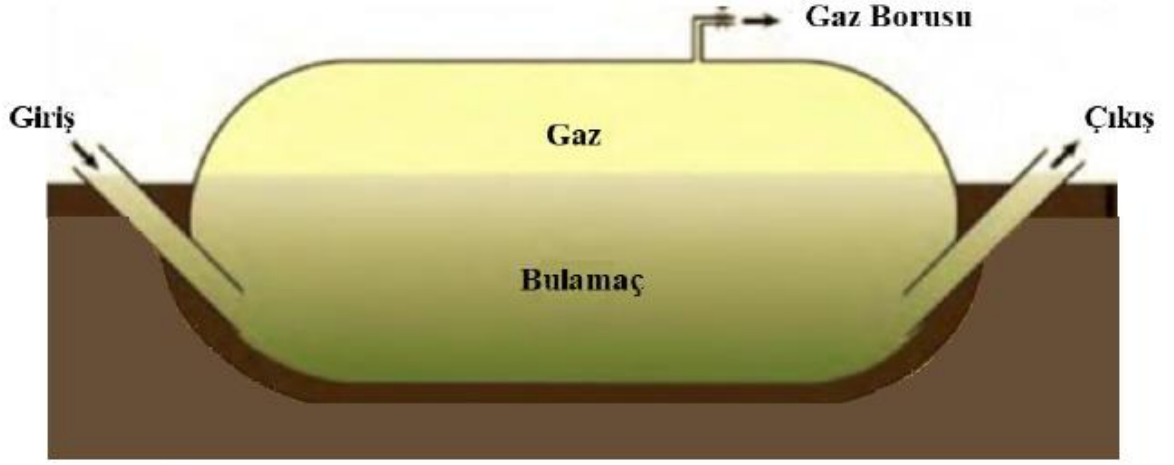
Hareketli kubbeli biyogaz reaktörü ilk olarak 1937 yılında Hindistan’da yapılmıştır. Tesis içinde karışım çukuru, giriş çukuru, çıkış çukurun, silindirik bir gövde ve gazonemetreden oluşur. Reaktör duvarları tuğla ve çimento ile örülüdür. Silindirik kubbe metalden oluşur. Yukarı aşağı yönlü hareket ederek biyogazı depolayıp, serbest bırakır. Giriş çukurundan atılan artık ve atıklar karışım çukuruna gelir. Karışım çukurunda bazen karıştırıcılar yardımıyla karışır. Gaz metal levha yardımıyla dışarı aktarılır. Çalışması kolay ve anlaşılırdır. Gaz basıncı sabittir. Tasarım maliyeti düşüktür. Korozyona uğrayan birçok çelik elemanları vardır. Gaz deposunun düzenli bakım yapılması gereklidir [34, 35].



Şekil 2.7. Hareketli kubbeli reaktör [34]

2.7.2.3. Membran Tipi Biyogaz Reaktörü

Membran tipi biyogaz reaktörü Tayvan'da 1960 yılında yapılmıştır. Tayvan tipi biyogaz reaktörünün yapılış amacı hareketli kubbeli biyogaz reaktörün ve sabit kubbeli biyogaz reaktörünün eksiklerini giderebilmek için yapılmıştır. Membran tipinin üst tarafı balona benzemektedir. Balon plastik veya kauçuktan yapılır. Girişten atık ve artık maddeler girer. Gaz deposu ve bulamaç aynı yerdedir. Gaz deposu dolarsa bile sabit kubbeli tesis gibi çalışmaya devam eder. Çıkıştan atık malzemeler çıkışı gözlemlenir. Maliyeti düşüktür. Boşaltılması ve temizlenmesi kolaydır.



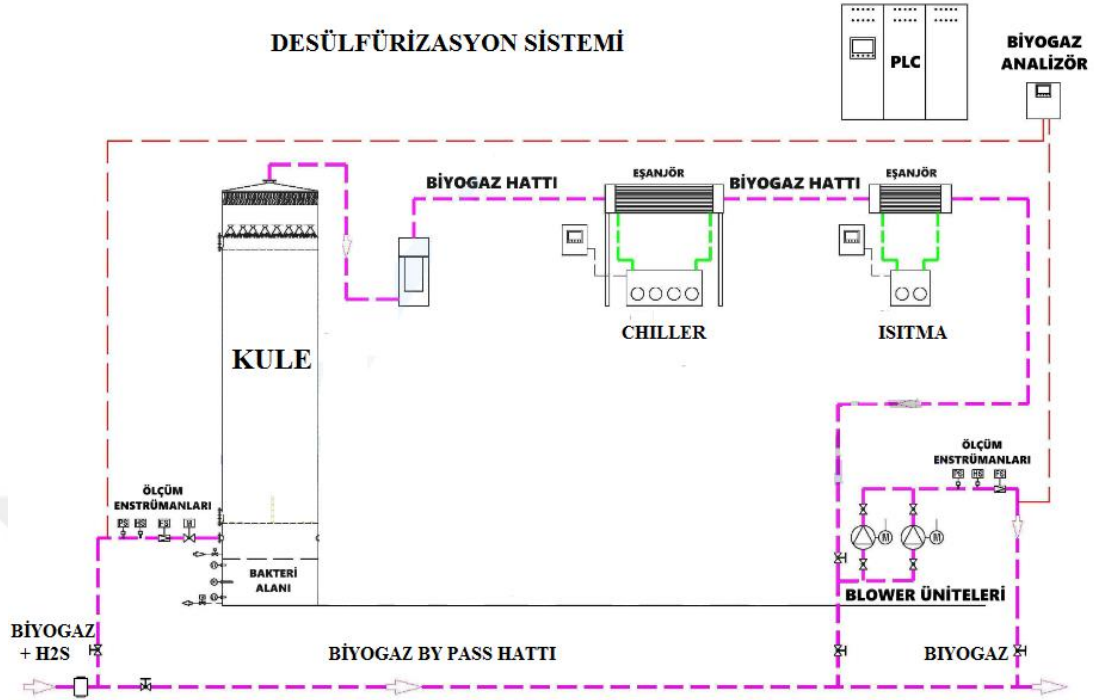
Şekil 2.8. Membran tipi reaktör [34]

2.8. Biyogaz Desülfürizasyon Ünitesinin Çalışması

Desülfürizasyon sistemi biyogaz için önem taşımaktadır. Çünkü hidrojen sülfür, sistemin korozyonuna sebep olmaktadır. Bunun için metan gazının hidrojen sülfürden kurtarılması gereklidir. Desülfürizasyon sistemi uzaktan kontrol ile yapılır. Desülfürizasyon sistemine biyogaz ve hidrojen sülfür birlikte girer sistemin çıkışında ise sadece biyogaz dışarı çıkar. Sistemin amacı da biyogaz gazını verimini artırmak için hidrojen sülfürden kurtulmaktır. Desülfürizasyon borusunun içerisinde bakteriler bulunmaktadır. Oksijen varlığı ile birlikte bakteriler hidrojen sülfürün parçalanmasını sağlarlar. Biyogaz sistemi çalıştırılmaya başlamadan önce manuel olan temiz su bekleme ve sirkülasyon hattındaki vanalar açılır. Sirkülasyon pompası vanası %25 konuma alınır. Temiz su besleme hattındaki ortadaki vana kapalı konumda bekletilir. Tank en üst noktaya gelene kadar suyla doldurulur.

Biyogaz sistemin drenaj vanaların açık mı kapalı mı olduğuna mutlaka kontrol edilmelidir. Vanalar uygun konuma geldikten sonra starta basılarak sistem çalıştırılır. Sistem çalıştırıldıktan sonra su giriş vanası açar ve sistem içeriye su almaya başlar. Sistemin su alıp almadığı temiz su besleme hattındaki görsel debimetre ile de gözlemlenir. Biyogaz sistemin bir an önce su alması için ortadaki vana isterse açılabilir. Ancak bu vana sirkülasyon pompası çalışmaya başladıktan sonra kapatılmalıdır. Su seviyesi alt limit şalterinin üzerine çıktığı anda sirkülasyon pompası

da otomatik olarak çalışmaya başlayacaktır. Sirkülasyon pompasının devreye girdiğinde ayarlanan ph'a bağlı olarak kostik dozaj pompası da devreye girecektir.



Şekil 2.9. Desülfürizasyon sistemi

Biyogaz sistemin ph değerinin bilinmesi gereklidir. Sistemin devreye alınması esnasında ph' a bağlı olarak kostik dozaj pompası çalışması sağlanır. Ph olarak alt seviyede olduğu zaman kostik dozaj pompası çalışır. Üst seviyelere çıkması halinde ise kostik dozaj durur. Sisteme beslenen temiz su debisi, görsel debimetre altındaki vanadan ayarlanarak sisteme sürekli su girişi sağlanmalıdır. Sirkülasyon tankının içindeki su seviyesi, belirlenen bir üst seviyeye geldiğinde ya da ayarlanan belirli bir zaman aralığına geldiğinde otomatik olarak deşarj edecektir. Sitemde üç farklı seviye şalteri mevcuttur. Bunlar alt, orta ve üst limit seviye şalterleridir. Bu sayede sistem su seviyesi istenilen aralıkta çalışabilir. Panelden istenilen şekilde ayarlanabilir. Sistem deşarj olurken temiz su beslemesi otomatik olarak durmaktadır. Kostik dozajda buna bağlı olarak durmaktadır. Deşarj sonunda sistem otomatik olarak tekrar çalışmaya başlayacaktır.

Sistem, şok kimyasal dozlaması prensibine göre çalışmaktadır. Bu yüzden yüksek kapasiteli dozaj pompası kullanılmaktadır. Sistemde kostik seviyesi periyodik olarak kontrol edilmektedir. Sistem şok prensibine göre çalıştığı ph yüksek değer

gördüğü zaman kostik dozajı durduracaktır. Bazen bu ayarlanan değerinin üst sınırını aşmaktadır. Bu da kule içinde bazı tepkimelerin hale gerçekleşmediğinin göstergesidir. Tepkimeler gerçekleştikten sonra tekrar ph değeri aşağı seviyelere düşmeye başlayacaktır. Ayrıca kimyasal desülfürizasyon sisteminde don koruması mevcuttur. Sıcaklık belirli bir eşik değerinin altına düşerse sistem, sirkülasyon pompası ve ısıtıcıları çalıştırmaya başlar. Ana şalterden komple kapatılırsa sistem devrede olmaz. Sistemin mutlaka çalışır konumda olması gerekmektedir.

Sistemin kapatılması için kısa süreli bir kapatma için sadece stop tuşuna basılması yeterlidir. Sirkülasyon pompası ve kostik dozaj sistem kapatmış olacaktır. Eğer sıcaklık değeri ani olarak düşürse sistem otomatik olarak kendini suyun donmasını engellemek için sirkülasyon pompasının çalıştırmasını sağlayacaktır. Eğer sistem uzun süreli kapatılacaksa, kontrol panelinden stop tuşuna basılarak bütün vanalar kapatılmalıdır. Manuel biyogaz vanası giriş vanası kapalı, çıkış vanası kapalı olarak ayarlanmalıdır. Tanktan istenirse su boşaltılabilir. Eğer istenirse ana şalterden de elektrik kesilebilir.



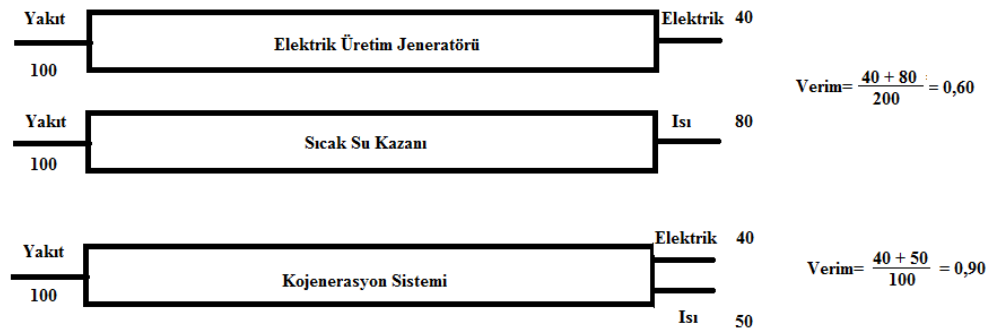
Şekil 2.10. Desülfürizasyon sisteminin görüntüsü

Eşanjör buhar ile ani ısıtılarda kullanılır. Chiller ise suyu damıtma sistemidir. Motora suyun gitmesini engellemek için kullanılır. Chiller kompresör, genişleme vanası, kondenserden oluşan bir soğutma sistemidir. Kompresörde sıkışan ve ısıtılan gazın kondenserde soğutulmasıyla çalışır. Genleşme vanasından geçen gazın basıncı

düşer. Basıncı düşen gazın sıcaklığı da düşer. Kondenser içindeki borulardan gezdirilen su buhar ile ısı alışverişine girer.

2.9. Kojenerasyon Sistemi

Kojenerasyon sistemi birleşik ısı gücü anlamına gelmektedir. Kojenerasyon sistemi enerji elde etmek için hem ısı hem de elektriği birlikte üretmesidir. Isı ve elektriği ayrı ayrı üretmek verimi düşürmektedir. Bunun yerine ikisini birden üretmek hem daha verimli hem de daha ekonomiktir. Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi ayrı ayrı kullanıldığında elektrik üretim jeneratörünün ve sıcak su kazanının toplam verimi %60 olurken, kojenerasyon sisteminde iki sistem birlikte kullanıldığı için verim %90 kadar çıkmaktadır.



Şekil 2.11. Kojenerasyon sisteminin verimlerinin karşılaştırılması

Kojenerasyon ısı ve elektriği birlikte üretimini sağlayan teknolojidir. Gaz motoru veya gaz türbininden açığa çıkan ısı geçmiş zamanlarda atılıyordu. Teknolojinin gelişmesiyle atılan ısıyı kullanılması amaçlanmıştır [36, 37].

Gaz türbini ya da buhar türbini olmak üzere iki eşit türbin sistemi vardır. Günümüzde kullanılan kömür, fuel-oil, gaz, atıkları yakmak için kullanılan kojenerasyon sistemleri vardır. Klasik buhar türbinleri sistemi fuel-oil, kömür, doğalgaz, dizel veya atıkları kullanılır. Gaz türbini kojenerasyonunda ise doğalgaz ve fuel-oil kullanılmaktadır. Gaz türbini kojenerasyonunda sıvı ya da gaz yakıt yakılarak

Üretim gerçekleştirilir. Yanarak genişleyen sıcak gazlar gaz türbinin içinden geçerek rotoru döndürür. Rotor jeneratöre bağlıdır. Rotorun dönmesiyle jeneratör elektrik enerjisi üretmeye başlar. Türbinden çıkan gazlar kullanılmak üzere boylerden geçer. Boylerden geçen gazlar istenirse endüstriyel tesiste, istenirse buhar üretiminde veya ısı uygulamasında kullanırlar.

Gaz türbini kojenerasyon sistemi, buhar türbini kojenerasyon sistemine göre daha fazla elektrik üretirler. Bu yüzden daha fazla yakıtı ihtiyaç duyarlar. Kullanılan gaz türbini kojenerasyon sistemlerin bazıları çift yakıtlıdır. Doğalgaz veya petrol türevleri kullanılabilir.

Buhar türbini kojenerasyon sisteminde ise, boyler sistemi mevcuttur. Boyler içinde atık yakıtlar yakılır. Yanan yakıtlardan olan yüksek basınçlı olan buhar, buhar türbini döndürmek üzere rotora gider. Rotorun dönmesiyle jeneratör elektrik enerjisi üretmeye başlar.

Gaz motoru veya gaz türbininin kullanıldığı durumlar vardır. Gaz motoru elektrik ihtiyaının, ısı ihtiyaından fazla olduğu durumlarda kullanılır. Gaz türbini ise ısı ihtiyaının, elektrik ihtiyaından fazla olduğu durumlarda kullanılır.

Kojenerasyon sistemin önemli avantajları bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Kojenerasyon sistemin enerji çevrim verim, normal ayrı sisteme oranla oldukça yüksektir.
- Elektrik veya ısı enerjisi elde etmek için sistemde kullanılan enerji kaynaklarından hammaddeden tasarruf elde edilir.
- Kojenerasyon sisteminde çeşitli farklı yakıtlar kullanılabilir. Biyogaz, doğalgaz, kömür, fuel-oil ve dizel gibi yakıtlar kullanılır.
- Enerji retimi ucuzdur.
- Enerji retimi kalitelidir.
- Enerji retimi bu enerjinin tüketileceği çevrede üretilerek, elektrik iletim ve elektrik dağıtım kayıpları yok edilir.
- Enerji giderlerinin azalmasına yardımcı olur.
- Isı enerjisini aynı zamanda sistemi ısıtmak için kullanılır [36].

2.10. Biyogaz Sistemi Otomasyonu

Biyogaz sistemi otomasyonu önemlidir. Çünkü anaerobik fermentasyon süreci, organik maddelerin biyogaza dönüştüğü doğrusal olmayan ve karmaşık bir süreçtir. Bu işlem bir dizi biyokimyasal reaksiyonları içeren bir süreçtir. Doğrusal olmayan bu sürecin modellenmesi, kontrol edilmesi ve geri beslemesi oldukça zor bir süreçtir.

Biyogaz üretim sistemlerinin kontrolündeki temel amaç sistemin kararlılığını sağlamaktır. Bunun için sistemde kontrol edilmesi gerekenler oldukça fazladır. Sıcaklık, uçucu yağ asitleri, sistemin ph, Alkalinite, yükleme oranı, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam katı madde, uçucu katı madde, karbon azot oranı gibi parametreler kontrol edilmelidir.

Sistemin kontrolü için; sıcaklık sensörleri, basınç sensörleri, sıvı seviye göstergeleri, gaz ve sıvı akış ölçerleri, ph sensörleri, yarı iletken sensörler, ısı iletkenlik sensörleri, elektrokimyasal hücre ve infrared sensörler kullanılmaktadır.

Girişte minimum atık veya artık ile çıkışta maksimum metan elde etmektir. Olası değişiklik sorunlarına karşı erken uyarı sistemi gibi çalışmaktadır. Sistemde kritik parametreleri öngörmek ve bu sayede etkin olarak sistem algoritmasını kullanmaktır. Küçük işletme sorunlarını daha büyük sorunları dönüşmesini engellemektir. Veri grubu oluşturmak ve veri analizi yapmaktır. Maksimum metan üretmek. Sistem yatırım maliyetlerini en aza indirmektir [4].

Biyogaz üretim sistemlerinde geleneksel olarak izlenen parametreler; sıcaklık, ph ve biyogaz üretim miktarlarıdır. Basit ölçümler sonucu sıcaklık, ph değeri, biyogaz üretim miktarı, enerji tüketimi ve reaktör sıvı seviyesi gibi parametreler günlük, haftalık ve aylık olarak ölçülmektedir.

Anaerobik fermentasyon sürecinde bulamaç hangi fazda ise ona göre yapılan ekstra ve maliyetli ölçümler vardır. Sıvı fazda; sıcaklık, uçucu yağ asitleri, ph değeri, yükleme oranı, Alkalinite, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam katı madde miktarı, uçucu katı madde miktarı, karbon-azot oranı ve amonyak ölçülmektedir. Gaz fazında ise gaz üretim hızı, biyogazdaki karbondioksit oranı, biyogazdaki hidrojen oranı, biyogazdaki hidrojen sülfür oranı, metan ve karbondioksit miktarı önemli ölçülmesi gereken parametrelerdir. Küçük ve orta ölçekli işletmelerde biyogaz sistemleri genellikle on-

off kontrol olarak kullanılmaktadır. Bu da sistemin etkili ve verimli çalışmasına engellemektedir.

2.11. Biyogaz Sistemindeki Sorunlar ve İzlenmesi Gereken Parametreler

Biyogaz sisteminde en yaygın sorunlar ise; aşırı yükleme, sıcaklık değişimleri, bekletme süresinin kısa tutulması, ph değişimleri, materyaldeki toksik bileşenler, reaktöre alınan yeni materyaller ve biyokütlenin sisteme adaptasyonu gibi sorunlar ile karşılaşmaktadır.

Aşırı yükleme sonucunda uçucu yağ asidi birikmesine neden olmaktadır. Anaerobik fermentasyon sonucunda ph değeri düşer, ph değeri düşünce ise biyogaz üretiminde düzensizlikler başlar. Daha ileriki aşamalarda ise fermentasyon tamamen durmaya neden olur.

Bekletme süresinin kısa tutulması, besleme materyali ve metan bakterilerinin kaybına etki edecektir. Reaktöre çok fazla maddenin girişiyle ortaya çıkmaktadır. Böylece reaktör kapasitesi beklenen seviyenin üstüne çıkmış olacaktır. Bu nedenle metan üretiminde düşüşler gözlenecektir.

Bazı parametreler belirli aralıklarla kontrol edilmesi gereklidir. Bu parametreler izlenim sıklığına göre sürekli, günlük ve haftalık olarak ayrılmaktadır. Sürekli izlenilmesi gereken parametreler; sıcaklık değeri, ph değeri ve metan üretimidir. Günlük izlenilmesi gereken parametreler; Alkalinite, sıvı seviyesi ve donanım kontrolüdür. Haftalık periyotlarla izlenmesi gereken parametreler ise; amonyak, gaz bileşenleri, uçucu yağ asitleri, toksik bileşenler, uçucu katı ve toplam katıdır.

Bunlar içerisinde en önemli parametre ise uçucu yağ asitleridir. Biyogaz sisteminin düzensizliğini doğrudan yansıtmaktadır. Bu nedenle uçucu yağ asitlerin kontrolü ve ölçümü çok önemlidir. Biyogaz reaktörünün daha büyük sorunlara ulaşmadan bilinmesini sağlamaktadır. Gerekli müdahalelerin yapılmasından dolayı önem taşımaktadır [4, 16, 20].

2.12. Biyogaz Sistemindeki Sensörler

Sensörler fiziksel büyüklükleri, anlamlı çıktılara dönüştürmeye sağlayan cihazlardır. Sensörler, biyogaz sistemiyle alakalı bilgi sağlamada ve verileri kontrol etmekte kilit rol oynamaktadır. Sistemde değişken birçok parametre vardır. Bu parametreleri ölçen çok değişik sensörler bulunmaktadır. Sıcaklık, ph değeri, basınç, sıvı seviyesi, uçucu yağ asitleri, gaz debisi, metan miktarı, karbondioksit miktarı ve hidrojen sülfür miktarlarını ölçen sensörler bulunmaktadır.

Sensörler, sistemin izlenmesi, sistemin otomatik kontrolü, sistemin denetlenmesi ve modellenmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Sensörlerin hatasız ve kesintisiz çalışması sistemin kontrolü için önemli bir ölçüttür. Ancak çok çeşitli hatalara rastlanılmaktadır. Sistemin aşırı hassas davranması nedeniyle kaynaklanan fiziksel ve kimyasal yapısında değişimler sensörlerde sapmalara neden olmaktadır. Sensörlerin hatalarını bulmak amacıyla belirli aralıklarla periyodik kontrolün yapılması gereklidir. Periyodik kontrol sırasında sensörlerin tekrar kalibrasyonu yapılarak çalışma seviyeye getirilmesi gereklidir.

Sıcaklık sensörleri; termokupl (ısıl çift), termistör (NTC ve PTC), dirençsel termometreler (PT100, PT1000) gibi sensörler kullanılmaktadır. Sıcaklık ölçümleri bakterilerin yaşamı, gelişimi ve üremesi için hayati önem taşımaktadır.

Ph sensörleri; hidrojen iyonunun çözelti içinde konsantrasyonunu ölçen cihazlardır. Ph değeri 0 – 6,9 arasında asidik, 7 civarında tuz ve 7,1 – 14 arasında bazik özellik göstermektedir.

Basınç sensörleri; gerinim ölçer basınç sensörleri, kapasitif basınç sensörleri, kapasitif fark basınç sensörleri ve piezelektrik basınç sensörleri bulunmaktadır.

Gaz ve sıvı akış sensörleri; biyogaz miktarı günlük olarak en çok kontrol edilen ve değişen değişkendir. Günlük biyogaz üretimini ölçen elektromanyetik, ultrasonik ve ısıl kütle akış ölçerler bulunmaktadır [4, 16, 20].

İnfrared sensörler; ölçümü yapılan gazların kızıl ötesi dalga boyunu kullanarak gazların arasından geçerek ikincil bir lens olan konumu duyarlı bir foto algılayıcı tarafından alınır. Foto algılayıcının geldiği konuma göre değişerek belirli bir gerilim üretir. Gaz yoğunluğu ölçülemeyen gazlar için kolaylıkla ölçüm sağlanır.

3.MATERYAL VE YÖNTEMLER

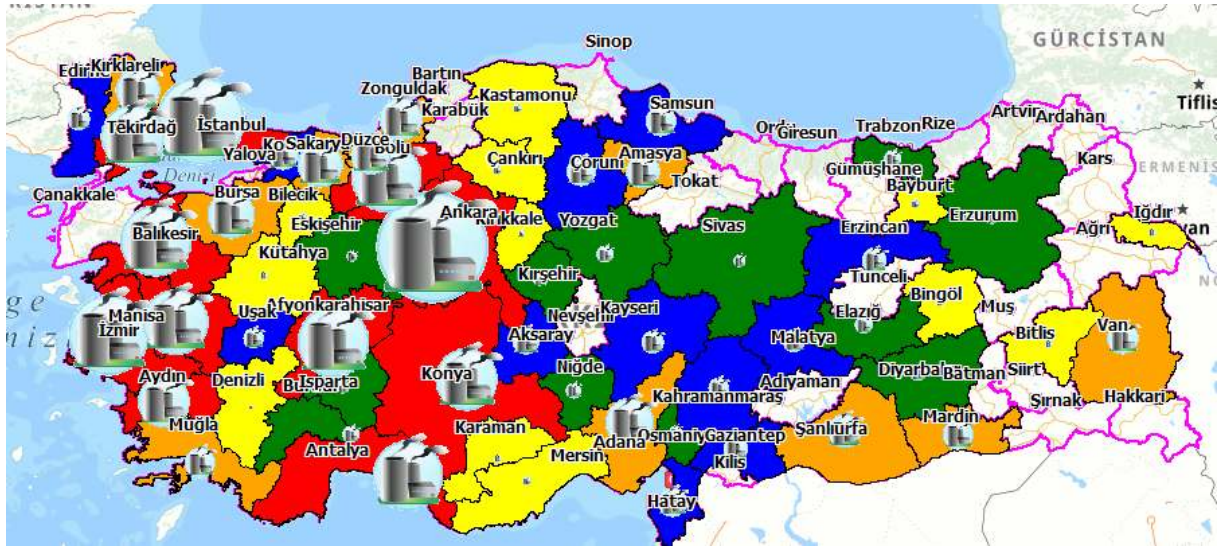
3.1. Türkiye’deki Lisanslı Biyogaz Santralleri

Türkiye’de bulunan kurulu gücüne göre bulunan santraller aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.1. Türkiye’deki biyogaz santralleri [38].

Santral Adı	İli	Kurulu Gücü
Odayeri Çöp Gazı Santrali	İstanbul	34 MW
Mamak Çöplüğü Biyogaz Santrali	Ankara	25 MW
Sofulu Çöplüğü Biyogaz Santrali	Adana	16 MW
Kömürcüoda Çöplüğü Biyogaz Santrali	İstanbul	14 MW
Bağfaş Gübre Fabrikası Biyogaz Santrali	Balıkesir	9,92 MW
Hamitler Çöplüğü Biyogaz Santrali	Bursa	9,80 MW
Afyon Hayvansal Atık Biyogaz Santrali	Afyon	8,40 MW
Kocaeli Çöplüğü Biyogaz Santrali	Kocaeli	6,51 MW
Karacabey Biyogaz Tesisi	Bursa	6,40 MW
Avdan Biyogaz Tesisi	Samsun	6,00 MW
Kayseri Çöplüğü Biyogaz Elektrik Santrali	Kayseri	5,78 MW
Konya Aslım Çöplüğü Biyogaz Santrali	Konya	5,66 MW
Ovacık Biyogaz Enerji Santrali	Kırklareli	4,80 MW
Kumrular Biyogaz Tesisi	Kırklareli	4,27 MW
Tire Biyogaz Tesisi	İzmir	4,27 MW
Pir Enerji Düzce Biyogaz Tesisi	Düzce	4,26 MW
Afyon Biyogaz Enerji Santrali	Afyon	4,02 MW
Gönen Biyogaz Tesisi	Balıkesir	3,62 MW
Ege Biyogaz Tesisi	Manisa	3,12 MW

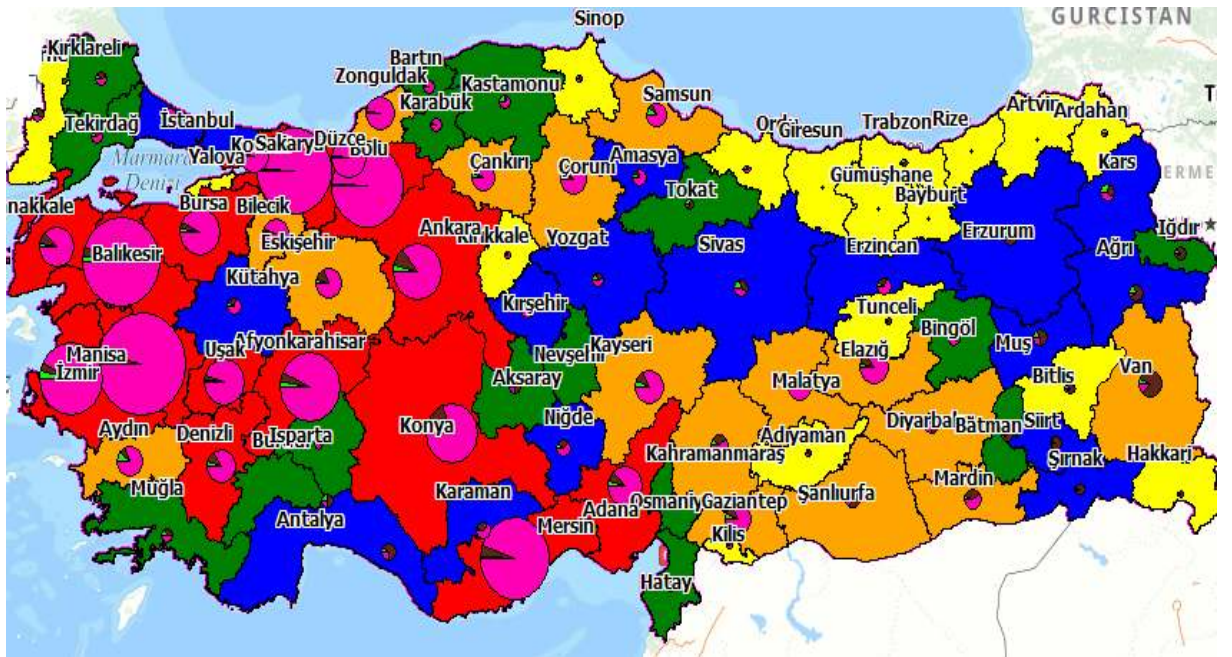
Türkiye’de harita bazında santrallerin dağılımı aşağıdaki şekilde verilmiştir. Kırmızı renk ile gösterilen en çok santral olan illerdir. Turuncu, mavi, yeşil, sarı ve beyaz renkler takip etmektedir. Beyaz renkli lan yerlerde hiç santral yoktur.



Şekil 3.1. Türkiye’deki biyogaz tesislerinin dağılışı [39].

3.2. Türkiye’deki İllere Göre Hayvan Dağılım Sayısı

Türkiye hayvancılık potansiyeli bakımından önemli bir yere sahiptir. Hayvancılık sektörünün gelişmesi aynı zamanda biyogaz sektörüne de etki etmektedir. Biyogaz sektörüne hammadde kaynağı sağlamaktadır. Biyokütle kaynağı olarak hayvancılık sektörü, büyükbaş, küçükbaş ve kümes hayvancılığı katkı sağlamaktadır. Enerji İşleri Genel Müdürlüğünden alınan verilere göre hayvancılık dağılımı aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3.2. Türkiye’deki hayvancılık sektöründeki dağılışı [39].

Hayvan sayılarına bakılırken sadece bir cins hayvana bakılmaz. Şehirdeki toplam hayvan sayısına bakılır. KÜMES hayvancılığı Doğu Karadeniz’de, Ege Bölgesine göre az olduğu için toplam hayvan sayısı az olduğu gözlemlenmiştir. Sarı renk ile gösterilen iller toplam hayvan sayılarının az olduğu illerdir. Hayvan varlığı 80 bin ile 840 bin arasında olan 17 tane ildir. Yeşil renk ile gösterilen iller 840 bin ile 1 milyon 308 bin arasındaki 17 tane ildir. Mavi renkle gösterilen 1 milyon 308 bin ile 2 milyon 550 bin arasındaki 16 ildir. Turuncu renk ile gösterilen iller ise 2 milyon 550 bin ile 6 milyon 242 bin arasındaki 16 ildir. En çok hayvan varlığı olan iller ise kırmızı renk ile gösterilmiştir. Bu iller 6 milyon 242 bin ile 42 milyon 885 bin arasındaki illerdir.

İçlerinde gösterilen daireler ile hayvanların büyükbaş, küçükbaş veya kümes hayvancılığı dağılımı verilmiştir. Büyükbaş hayvancılık Türkiye geneli %4 iken, küçükbaş hayvancılık dağılımı %11’dir. KÜMES hayvancılığı ülkede en çok yaygın hayvancılık olup, bunun dağılımı %85’i bulmaktadır. Sanayileşmenin olduğu yerlerde özellikle Ege bölgesi Marmara ve İç Anadolu bölgesinde kümes hayvancılığı yaygın olduğu görülmektedir. Büyükbaş hayvan olarak çeşitli sığır türleri, manda, katır, eşek, at gibi hayvanlar vardır. Küçükbaş hayvan olarak, yerli koyun, merinos koyunu, kıl keçisi, tiftik keçisi gibi türler mevcuttur. KÜMES hayvanları ise, hindi, kaz, ördek, tavuk gibi hayvanları kapsamaktadır.

3.3. Manisa İli Bilgisi

Manisa ili 17 ilçesi bulunan büyükşehir olan bir ildir. Coğrafi konum olarak 27-29 doğu boylamları, 38-39 kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Manisa ili verimli topraklarıyla iklimi, konumu yapısıyla her türlü tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerine elverişli bir bölgede bulunmaktadır. Hayvancılık sektörü Manisa da git gide artmaktadır. Özellikle kümes hayvanlığı konusunda Türkiye’nin önde gelen illeri arasında yer almaktadır. Hayvancılık potansiyelin artması aynı zamanda hayvanlarda çıkan atık ve artıkların kullanılması için yeni bir sektör ortaya çıkarmaktadır. Hayvancılık faaliyetleri sonunda atık veya artık maddeler biyokütle enerjisi olarak kullanılabilir. Manisa ili için hayvan dağılımları incelenmektedir. İlçeler bazından hayvan dağılımı aşağıdaki tablolarda yer verilmiştir. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları biyokütle kaynağı açısından önemlidir.

3.4. Manisa İli Koordinat Bilgisi

Manisa iline ait ilçe koordinatları bilgisi aşağıdaki tabloda verilmiştir. 38.6140 kuzey paraleli ve 27.4796 doğu meridyeni üzerinde bulunmaktadır.

Tablo 3.2. Manisa ilçeleri koordinatları bilgisi [40].

Manisa İlçe Adları	Kuzey Paraleli	Doğu Meridyeni
Ahmetli	38,5163	27,9379
Akhisar	38,9177	27,8366
Alaşehir	38,3545	28,5165
Demirci	39,0473	28,6585
Gölmarmara	38,7078	27,9170
Gördes	38,9330	28,2887
Kırkağaç	39,1054	27,6733
Köprübaşı	38,7503	28,4024
Kula	38,5466	28,6441
Salihli	38,4907	28,1401
Sarıgöl	38,2409	28,6949
Saruhanlı	38,7375	27,5729
Selendi	38,7450	28,8693
Soma	39,1881	27,6100
Şehzadeler	38,6140	27,4296
Turgutlu	38,5002	27,7084
Yunusemre	38,6166	27,4196

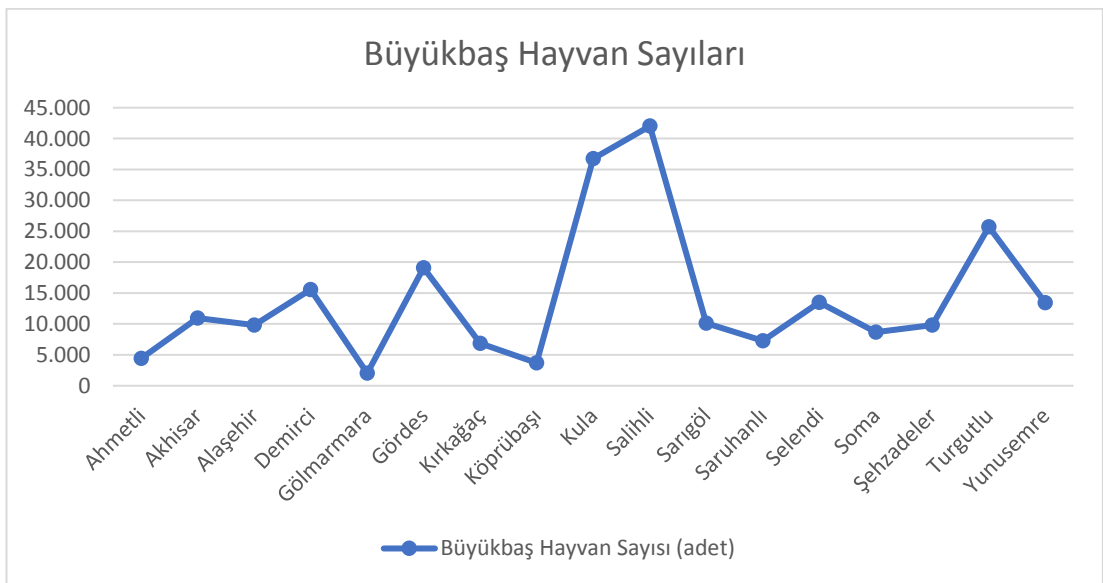
3.5. Manisa İli Hayvan Potansiyeli

3.5.1. Manisa İli Büyükbaş Hayvan Sayısı

Manisa ili büyükbaş hayvan olarak at, katır, sığır, manda gibi büyükbaş hayvanlar bulunmaktadır. Enerji İşleri Genel Müdürlüğü'nün güncel verilerine göre aşağıda tabloda büyükbaş hayvan sayıları ilçeler bazında paylaşılmıştır. Büyükbaş hayvan olarak en çok Salihli ilçesinde 42 bin adet büyükbaş hayvan bulunmaktadır. Salihli'den sonra 36 bin büyükbaş hayvan ile Kula gelmektedir. En az hayvan ise Gölmarmara ilçesinde 2 bin adet büyükbaş hayvan bulunmaktadır. Toplam büyükbaş hayvan sayısı olarak 239 bin civarında büyükbaş hayvan bulunmaktadır.

Tablo 3.3. Manisa ilindeki büyükbaş hayvan sayıları [39].

Manisa İlçe Adları	Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)
Ahmetli	4.434
Akhisar	10.965
Alaşehir	9.805
Demirci	15.551
Gölmarmara	2.028
Gördes	19.079
Kırkağaç	6.846
Köprübaşı	3.700
Kula	36.774
Salihli	42.025
Sarıgöl	10.102
Saruhanlı	7.267
Selendi	13.520
Soma	8.697
Şehzadeler	9.826
Turgutlu	25.732
Yunusemre	13.428
Toplam	239.779



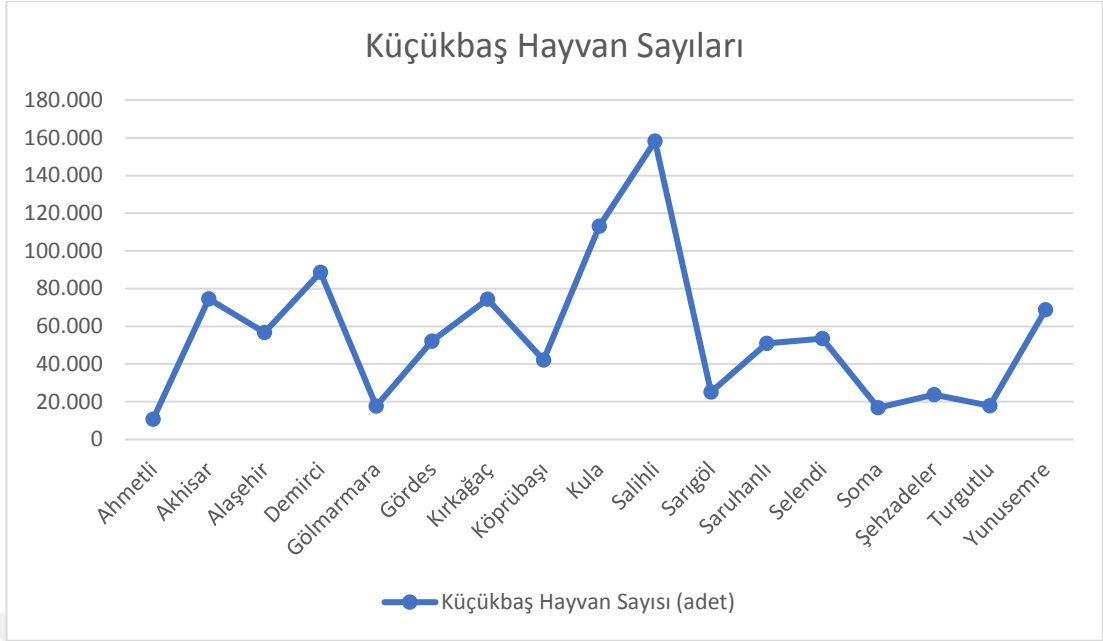
Şekil 3.3. Manisa ili büyükbaş hayvan sayıları

3.5.2. Manisa İli Küçükbaş Hayvan Sayısı

Manisa ili küçükbaş hayvan olarak kıl keçisi, tiftik keçisi, merinos koyun ve yerli koyun gibi türler bulunmaktadır. Enerji İşleri Genel Müdürlüğünün güncel verilerine göre aşağıda tabloda küçükbaş hayvan sayıları ilçeler bazında paylaşılmıştır. Küçükbaş hayvan olarak en çok Salihli ilçesinde 158 bin adet küçükbaş hayvan bulunmaktadır. Salihli'den sonra 113 bin küçükbaş hayvan ile Kula takip etmektedir. En az küçükbaş hayvan sayısı ise Ahmetli ilçesinde olup yaklaşık 10 bin civarında küçükbaş hayvan bulunmaktadır. Toplam küçükbaş hayvan sayısı olarak 945 bin civarında küçükbaş hayvan bulunmaktadır.

Tablo 3.4. Manisa ilindeki küçükbaş hayvan sayıları [39].

Manisa İlçe Adları	Küçükbaş Hayvan Sayısı (adet)
Ahmetli	10.696
Akhisar	74.600
Alaşehir	56.795
Demirci	88.630
Gölmarmara	17.630
Gördes	52.106
Kırkağaç	74.371
Köprübaşı	42.080
Kula	113.136
Salihli	158.200
Sarıgöl	25.209
Saruhanlı	50.914
Selendi	53.580
Soma	16.758
Şehzadeler	23.800
Turgutlu	17.855
Yunusemre	68.780
Toplam	945.140



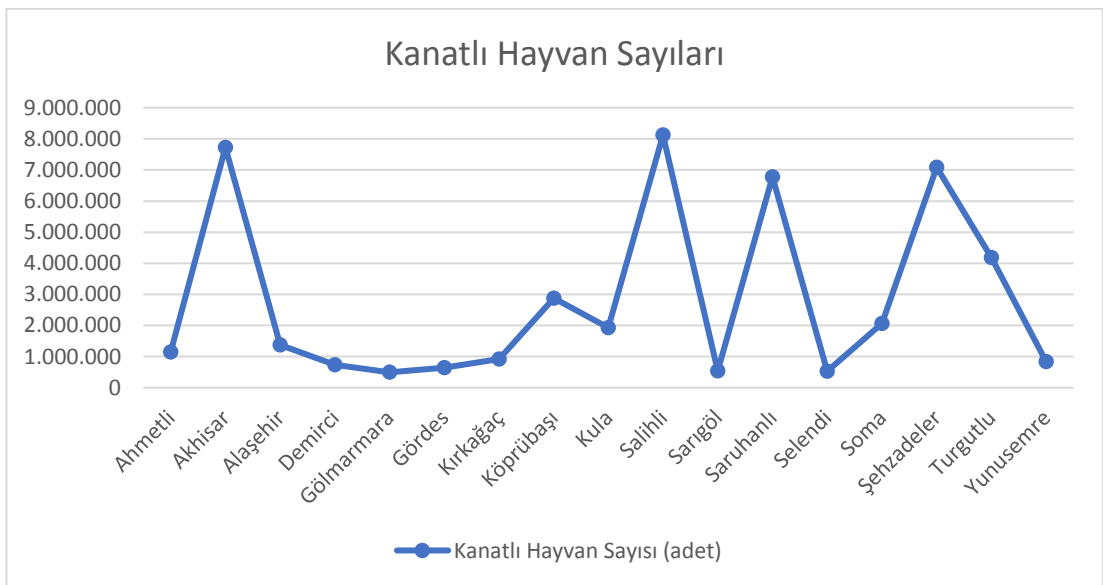
Şekil 3.4. Manisa ili küçükbaş hayvan sayıları

3.5.3. Manisa İli Kanatlı Hayvan Sayısı

Manisa ili kanatlı hayvan olarak hindi, kaz, ördek, tavuk gibi kanatlı hayvanlar bulunmaktadır. Enerji İşleri Genel Müdürlüğünün güncel verilerine göre aşağıda tabloda kanatlı hayvan sayıları ilçeler bazında paylaşılmıştır. Kanatlı hayvan sayısı olarak en çok Salihli ilçesinde 8 milyon civarında kanatlı hayvan bulunmaktadır. Salihli ilçesini, Akhisar ilçesi 7 milyon kanatlı hayvan sayısı olarak takip etmektedir. Toplam kanatlı hayvan sayısı 47 milyon civarında bulunmaktadır. Kanatlı hayvan sektörünün bu kadar çok yoğun olmasının en önemli sebebi de Manisa çevre ilçelerinde bu sektörde faaliyet gösteren çok sayıda büyük işletmelerin yer almasıdır. Bu işletmeler hem kanatlı hayvan üretimi yapmaktadır. Kanatlı hayvanın ürettikleri piliç eti ve yumurtaları kullanmaktadır. Kanatlı hayvan atıklarından kendi işletmeleri için elektrik enerjisini üretmesi, sektör için mükemmel bir fırsattır. Fabrikaların çalışması için elektriğe ihtiyaç vardır. Hem hammaddeyi kullanacaklar hem de bundan tasarruf sağlayıp kendi elektrik enerjilerini kendileri üretmesi sağlanmış olacaktır. En az kanatlı hayvan sayısı olan ilçeler ise, Gölarmarmara ilçesi 496 bin adet kanatlı hayvan sayısı, 531 bin adet kanatlı hayvan sayısı ile Selendi ilçesi, 543 bin adet kanatlı hayvan sayısı ile Sarıgöl ilçesi ve 645 bin adet ile Gördes ilçesi takip etmektedir.

Tablo 3.5. Manisa ilindeki kanatlı hayvan sayıları [39].

Manisa İlçe Adları	Kanatlı Hayvan Sayısı (adet)
Ahmetli	1.149.500
Akhisar	7.725.790
Alaşehir	1.370.462
Demirci	733.045
Gölmarmara	496.001
Gördes	645.248
Kırkağaç	926.547
Köprübaşı	2.880.963
Kula	1.928.000
Salihli	8.122.560
Sarıgöl	543.781
Saruhanlı	6.772.604
Selendi	531.781
Soma	2.064.140
Şehzadeler	7.083.770
Turgutlu	4.182.907
Yunusemre	840.355
Toplam	47.997.454



Şekil 3.5. Manisa ili kanatlı hayvan sayıları

3.6. Hayvanlardan Elde Edilecek Atık Potansiyeli

Manisa ilçeleri içerisinde Enerji Enstitü Müdürlüğünden alınan verilere göre hayvan adet sayıları belirlenmiştir. Belirlenen hayvan sayılarından ilçe merkezlerinde kullanılabilecek hayvan atık potansiyeli hesaplanacaktır.

Tarımsal atık projesi verilerine göre, büyükbaş hayvandan 9,94 ton/yıl⁻¹, küçükbaş hayvandan 0,82 ton/yıl⁻¹, kanatlı hayvandan 0,029 ton/yıl⁻¹ ortalama gübre elde edildiği kabul edilir. Hayvansal potansiyel hesaplandıktan sonra ise bu artık ve atıkların ne kadarı kullanılabilir onun hesaplanması gereklidir [41, 42, 43].

Bu artık ve atıklardan ise hayvanlara göre kullanılabilir oran değişmektedir. En çok kullanılabilir oran kanatlı hayvandan olup, bunu büyükbaş hayvanlar ve küçükbaş hayvanlar takip etmektedir. Büyükbaş hayvanlarda kullanılabilir oran %65, küçükbaş hayvanlarda kullanılabilir oran %13, kanatlı hayvanlarda kullanılabilir oran ise %99 olarak kabul edilmiştir [41, 42, 43].

Tablo 3.6 bütün ilçelerin toplam hayvan sayıları verilmiştir. Manisa ili Tüik verilerine göre kanatlı hayvan sayısında Türkiye’de birinci sırada bulunmaktadır. Toplam hayvan sayısı en fazla olan ilçeler 8 milyon 302 bin adet ile Salihli, 7 milyon 811 bin ile Akhisar, 7 milyon 117 bin adet ile Şehzadeler, 6 milyon 831 bin ile Saruhanlı ilçeleridir. Toplam hayvan sayısı en az ilçeler ise; 515 bin adet ile Gölarmara, 579 bin adet ile Sarıgöl, 598 bin adet ile Selendi, 716 bin adet ile Gördes ilçeleri gelmektedir. Tablo 3.6’daki toplam hayvan sayılarını bulmak için her ilçe içinde: büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayısının toplamı yapılarak toplam hayvan sayısı sütununa yazılır.

Büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayısının az olması toplam hayvan sayısına etkisi oldukça azdır. Ama buna karşı büyükbaş hayvan sayısından elde edilen toplam atık potansiyeli en fazla değerdedir. Daha sonra küçükbaş hayvandan elde edilebilecek toplam atık potansiyeli ve en son olarak kanatlı hayvandan ele edilebilecek toplam atık potansiyel sayısı gelmektedir.

Tablo 3.6. Manisa ilindeki tüm hayvan sayıları [39].

Manisa İlçe Adları	Büyükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Küçükbaş Hayvan Sayısı (adet)	Kanatlı Hayvan Sayısı (adet)	Toplam Hayvan Sayısı (adet)
Ahmetli	4.434	10.696	1.149.500	1.164.630
Akhisar	10.965	74.600	7.725.790	7.811.355
Alaşehir	9.805	56.795	1.370.462	1.437.062
Demirci	15.551	88.630	733.045	837.226
Gölmarmara	2.028	17.630	496.001	515.659
Gördes	19.079	52.106	645.248	716.433
Kırkağaç	6.846	74.371	926.547	1.077.764
Köprübaşı	3.700	42.080	2.880.963	2.926.743
Kula	36.774	113.136	1.928.000	2.077.910
Salihli	42.025	158.200	8.122.560	8.322.785
Sarıgöl	10.102	25.209	543.781	579.092
Saruhanlı	7.267	50.914	6.772.604	6.830.785
Selendi	13.520	53.580	531.781	598.881
Soma	8.697	16.758	2.064.140	2.089.595
Şehzadeler	9.826	23.800	7.083.770	7.117.396
Turgutlu	25.732	17.855	4.182.907	4.226.494
Yunusemre	13.428	68.780	840.355	922.563
Toplam	239.779	945.140	47.997.454	49.182.373

$$\text{HAP} = \text{Hayvan Adeti} \times \text{Hayvandan elde edilen atık oranı} / 1.000.000 \quad (3.1)$$

Tablo 3.6'dan yola çıkarak bazı ilçelerin hayvan adetlerinden hayvansal atık potansiyeli, denklem 3.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Her hayvan cinsi için farklı hesaplanır. Örnek olarak bazı ilçeleri baz alınarak işlemler yapılmıştır. Alaşehir için bakacak olursak; büyükbaş hayvan sayısı 9.805, küçükbaş hayvan sayısı 56.795 ve kanatlı hayvan sayısı ise 1.370.462'dir. Buna bağlı olarak toplam hayvan sayısı ise 1.437.062'dir. Buna bağlı olarak hap (hayvansal atık potansiyeli) her cins tek tek hesaplanacaktır. 1 milyona bölmemizin sebebi işlemimizi kolaylaştırmaktır. Daha sonra kademeli olarak çarpılacaktır.

Alaşehir büyükbaş, küçükbaş, kanatlı ve toplam hayvansal atık potansiyeli;

Büyükbaş hap = $9.805 \times 9,94 / 1.000.000 = 0,097462$ milyon ton/yıl

Küçükbaş hap = $56.795 \times 0,82 / 1.000.000 = 0,046572$ milyon ton/yıl

Kanatlı hap = $1.370.462 \times 0,029 / 1.000.000 = 0,039743$ milyon ton/yıl

Toplam hap = $0,097462 + 0,046572 + 0,039743 = 0,183777$ milyon ton /yıl

En çok hayvansal atık potansiyeli, Salihli ilçesindedir. Bunun nedeni büyükbaş hayvan sayısının 42.025 adet olarak en çok büyükbaş hayvan bulunmaktadır. En çok küçükbaş hayvan sayısı 158.200 adet olarak ilçeler arasında en çoktur. Kanatlı hayvan sayısı ise Salihli ilçesinde 8.122.560 adet hayvan bulunmaktadır.

Salihli büyükbaş, küçükbaş, kanatlı ve toplam hayvansal atık potansiyeli;

Büyükbaş hap = $42.025 \times 9,94 / 1.000.000 = 0,417729$ milyon ton/yıl

Küçükbaş hap = $158.200 \times 0,82 / 1.000.000 = 0,129724$ milyon ton/yıl

Kanatlı hap = $8.122.560 \times 0,029 / 1.000.000 = 0,235554$ milyon ton/yıl

Toplam hap = $0,417729 + 0,129724 + 0,235554 = 0,783007$ milyon ton /yıl

İlçelerde en az büyükbaş hayvan sayısı 2.028 adet olarak Gölarmara'da bulunmaktadır. En az küçükbaş hayvan sayısı Ahmetli'de 10.696 adet olmasına rağmen Gölarmara ilçesinde 17.630 adet bulunmaktadır. Manisa ilçelerinde en az kanatlı hayvan sayısı Gölarmara'da 496.001 adet olarak bulunmaktadır.

Gölarmara ilçesinde büyükbaş, küçükbaş, kanatlı ve toplam hayvansal atık potansiyeli;

Büyükbaş hap = $2.028 \times 9,94 / 1.000.000 = 0,020158$ milyon ton/yıl

Küçükbaş hap = $17.630 \times 0,82 / 1.000.000 = 0,014457$ milyon ton/yıl

Kanatlı hap = $496.001 \times 0,029 / 1.000.000 = 0,014384$ milyon ton/yıl

Toplam hap = $0,020158 + 0,014457 + 0,014384 = 0,048999$ milyon ton /yıl

Tablo 3.7. Manisa ili hayvansal atık potansiyeli

Manisa İlçe Adları	Büyükbaş Hap milyon ton/yıl	Küçükbaş Hap milyon ton/yıl	Kanatlı Hap milyon ton/yıl	Toplam Hap milyon ton/yıl
Ahmetli	0,044074	0,008771	0,033336	0,086180
Akhisar	0,108992	0,061172	0,224048	0,394212
Alaşehir	0,097462	0,046572	0,039743	0,183777
Demirci	0,154577	0,072677	0,021258	0,248512
Gölmarmara	0,020158	0,014457	0,014384	0,048999
Gördes	0,189645	0,042727	0,018712	0,251084
Kırkağaç	0,068049	0,060984	0,026870	0,155903
Köprübaşı	0,036778	0,034506	0,083348	0,154832
Kula	0,365534	0,092772	0,055912	0,514217
Salihli	0,417729	0,129724	0,235554	0,783007
Sarıgöl	0,100414	0,020671	0,015770	0,136855
Saruhanlı	0,072234	0,041749	0,196406	0,310389
Selendi	0,134389	0,043936	0,015422	0,193746
Soma	0,086448	0,013742	0,059860	0,160050
Şehzadeler	0,097670	0,019516	0,020529	0,322616
Turgutlu	0,255776	0,014641	0,121304	0,391721
Yunusemre	0,133474	0,056400	0,024370	0,214244
Toplam	2,383403	0,775014	1,391926	4,550344

Manisa ili için hayvansal atık potansiyeli 3.1. denklem kullanılarak hesaplanıp Tablo 3.7 istenilen sonuçlar yazılmıştır. Tabloya göre en çok hayvansal atık olan ilçe Salihli'dedir. En çok hayvan sayısının Salihli'de olup 0,7830007 milyon ton /yıldır. En az ise Gölmarmara ilçesinde olup 0,048999 milyon ton/yıl olduğu görülmektedir.

3.7. Hayvanlardan Elde Edilecek Kullanılabilir Atık Potansiyeli

Kullanılabilir atık potansiyelinin (kap) cinside milyon ton /yıl. Her cins hayvanın kullanılabilir oranı farklıdır. Büyükbaş hayvanlarda kullanılabilir oran %65, küçükbaş hayvanlarda kullanılabilir oran %13, kanatlı hayvanlarda kullanılabilir oran ise %99 olarak kabul edilmiştir [41, 42].

Tablo 3.8. Manisa ili kullanabilir atık potansiyeli

Manisa İlçe Adları	Büyükbaş Kap milyon ton/yıl	Küçükbaş Kap milyon ton/yıl	Kanatlı Kap milyon ton/yıl	Toplam Kap milyon ton/yıl
Ahmetli	0,028648074	0,001140194	0,033002145	0,062790413
Akhisar	0,070844865	0,007952360	0,221807431	0,300604656
Alaşehir	0,063350105	0,006054347	0,039345964	0,108750416
Demirci	0,100475011	0,009447958	0,021045722	0,130968691
Gölmarmara	0,013102908	0,001879358	0,014240189	0,029222455
Gördes	0,123269419	0,005554500	0,018525070	0,147348989
Kırkağaç	0,044232006	0,007927949	0,026601164	0,078761119
Köprübaşı	0,023905700	0,004485728	0,082712448	0,111103876
Kula	0,237596814	0,012060298	0,055352880	0,305009992
Salihli	0,271523525	0,016864120	0,233198698	0,521586343
Sarıgöl	0,065269022	0,002687279	0,015611953	0,083568254
Saruhanlı	0,046952087	0,005427432	0,194441461	0,246820980
Selendi	0,087352720	0,005711628	0,015267433	0,108331781
Soma	0,056191317	0,001786403	0,059261459	0,117239179
Şehzadeler	0,063485786	0,002537080	0,203375037	0,269397903
Turgutlu	0,166254452	0,001903343	0,120091260	0,288249055
Yunusemre	0,086758308	0,007331948	0,024126592	0,118246848
Toplam	1,549212119	0,100751924	1,378006904	3,027970947

Kullanılabilir atık potansiyeli her hayvan cinsi için farklı olarak hesaplanacaktır. Bunun için Alaşehir örneğinden yola çıkarsak önce büyükbaş, küçükbaş, kanatlı ve toplam kullanılabilir atık potansiyeli hesaplanması denklem 3.2 kullanılarak yapılmıştır.

$$\text{Kap} = \text{Hap} \times \text{Kullanabilir Oran (3.2)}$$

Alaşehir büyükbaş, küçükbaş, kanatlı ve toplam kullanılabilir atık potansiyeli;

Büyükbaş kap = $0,097462 \times 0,65 = 0,063350$ milyon ton/yıl

Küçükbaş kap = $0,046572 \times 0,13 = 0,006054$ milyon ton/yıl

Kanatlı kap = $0,039743 \times 0,99 = 0,039345$ milyon ton/yıl

Toplam kap = $0,063350 + 0,006054 + 0,039345 = 0,108750$ milyon ton /yıl

En çok kullanılabilir atık potansiyeli Salihli ilçesi için büyükbaş, küçükbaş, kanatlı ve toplam;

Büyükbaş kap = $0,417729 \times 0,65 = 0,271523$ milyon ton/yıl

Küçükbaş kap = $0,129724 \times 0,13 = 0,061864$ milyon ton/yıl

Kanatlı kap = $0,235554 \times 0,99 = 0,233198$ milyon ton/yıl

Toplam kap = $0,271523 + 0,061864 + 0,233198 = 0,521586$ milyon ton /yıl

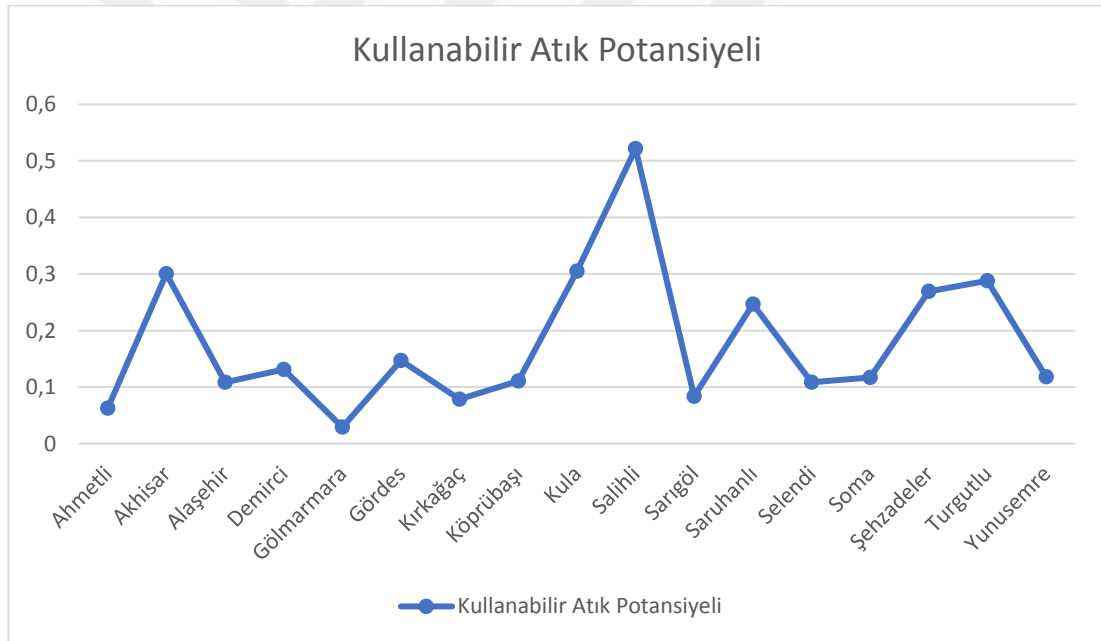
En az kullanılabilir atık potansiyeli Gölarmara ilçesi için büyükbaş, küçükbaş, kanatlı ve toplam;

Büyükbaş kap = $0,020158 \times 0,65 = 0,013102$ milyon ton/yıl

Küçükbaş kap = $0,014457 \times 0,13 = 0,001879$ milyon ton/yıl

Kanatlı kap = $0,014384 \times 0,99 = 0,014240$ milyon ton/yıl

Toplam kap = $0,013102 + 0,001879 + 0,014240 = 0,029222$ milyon ton /yıl



Şekil 3.6. Manisa ili toplam kullanılabilir atık potansiyeli

Manisa ili için kullanılabilir atık potansiyeli toplada verilmiştir. Buna göre en çok kullanılabilir atık potansiyeli Salihli de olduğu gözlemlenmiştir. Salihli'yi, Kula Akhisar, Turgutlu ve Şehzadeler takip etmektedir. En az kullanılabilir atık potansiyeli ise; Gölarmara, Ahmetli, Kırkağaç, Sarıgöl ve Selendi izlemiştir.

3.8. Üretililecek Biyogaz Miktarı

Bir ton büyükbaş gübresinden 33 m³ biyogaz, bir ton küçükbaş gübresinden 58 m³ biyogaz, bir ton büyükbaş gübresinden 78 m³ biyogaz elde edildiği dikkate alınmıştır. Üretililecek biyogaz miktarı hesaplanırken, kullanılabilir atık potansiyeli bir ton gübre ile çarpılır [36, 37].

$$\text{Biyogaz Miktarı} = \text{Kap} \times 33 \times 1000 \quad \text{Büyükbaş hayvan için (3.3)}$$

$$\text{Biyogaz Miktarı} = \text{Kap} \times 58 \times 1000 \quad \text{Küçükbaş hayvan için (3.4)}$$

$$\text{Biyogaz Miktarı} = \text{Kap} \times 78 \times 1000 \quad \text{Kanatlı hayvan için (3.5)}$$

Alaşehir büyükbaş, küçükbaş, kanatlı ve toplam biyogaz miktarı yukarıdaki 3.3, 3.4 ve 3.5 denklemleri yerine konularak hesaplanmıştır;

$$\text{Büyükbaş biyogaz miktarı} = 0,063350 \times 33 \times 1000 = 2.090,553465 \text{ bin m}^3/\text{yıl}$$

$$\text{Küçükbaş biyogaz miktarı} = 0,006054 \times 58 \times 1000 = 351,152126 \text{ bin m}^3/\text{yıl}$$

$$\text{Kanatlı biyogaz miktarı} = 0,039345 \times 78 \times 1000 = 3.068,985194 \text{ bin m}^3/\text{yıl}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam kullanılabilir biyogaz miktarı} &= 2.090,553465 + 351,152126 + 3.068,985194 \\ &= 5.510,690785 \text{ bin m}^3/\text{yıl} \end{aligned}$$

En çok biyogaz üreten ilçe olarak Salihli için hesap aşağıdaki gibidir.

$$\text{Büyükbaş biyogaz miktarı} = 0,271523 \times 33 \times 1000 = 8.960,276325 \text{ bin m}^3/\text{yıl}$$

$$\text{Küçükbaş biyogaz miktarı} = 0,016864 \times 58 \times 1000 = 978,11896 \text{ bin m}^3/\text{yıl}$$

$$\text{Kanatlı biyogaz miktarı} = 0,233198 \times 78 \times 1000 = 18.189,49841 \text{ bin m}^3/\text{yıl}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam kullanılabilir biyogaz miktarı} &= 8.960,276325 + 978,11896 + 18.189,49841 \\ &= 28.127,8937 \text{ bin m}^3/\text{yıl} \end{aligned}$$

En az biyogaz üreten ilçe olarak Gölarmara için hesap aşağıdaki gibidir.

$$\text{Büyükbaş biyogaz miktarı} = 0,271523 \times 33 \times 1000 = 432,395964 \text{ bin m}^3/\text{yıl}$$

$$\text{Küçükbaş biyogaz miktarı} = 0,016864 \times 58 \times 1000 = 109,002764 \text{ bin m}^3/\text{yıl}$$

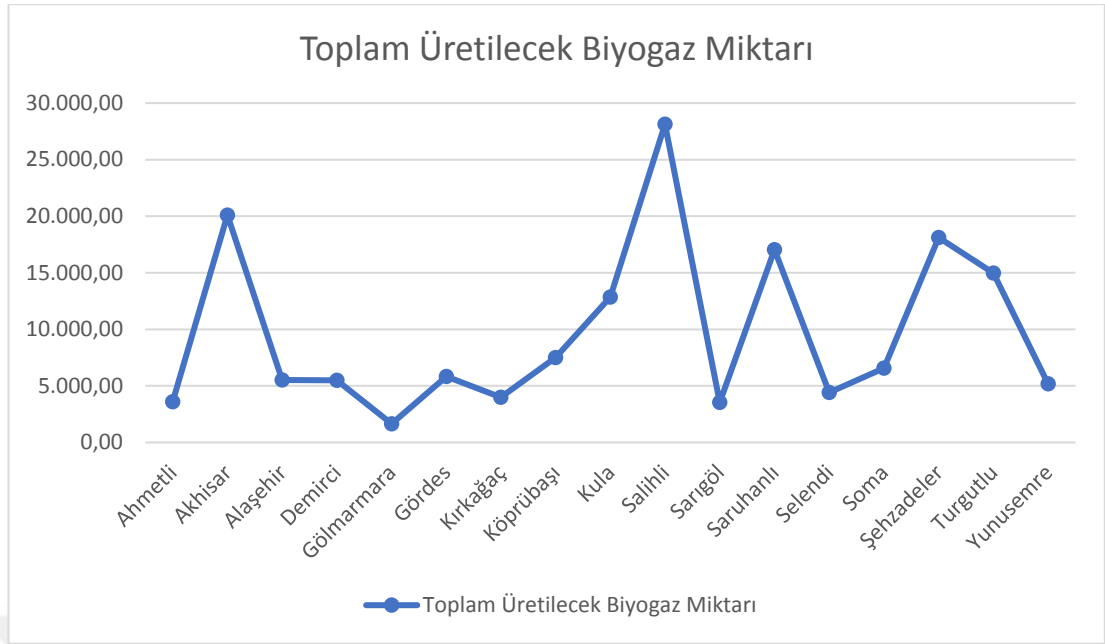
$$\text{Kanatlı biyogaz miktarı} = 0,233198 \times 78 \times 1000 = 1.110,734719 \text{ bin m}^3/\text{yıl}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam kullanılabilir biyogaz miktarı} &= 432,395964 + 109,002764 + 1.110,734719 = \\ &= 1.652,133447 \text{ bin m}^3/\text{yıl} \end{aligned}$$

Tablo 3.9. Manisa ili üretilebilecek biyogaz miktarı

Manisa İlçe Adları	Büyükbaş Üretilebilecek Biyogaz Miktarı bin m ³ /yıl	Küçükbaş Üretilebilecek Biyogaz Miktarı bin m ³ /yıl	Kanatlı Üretilebilecek Biyogaz Miktarı bin m ³ /yıl	Toplam Üretilebilecek Biyogaz Miktarı bin m ³ /yıl
Ahmetli	945,386442	66,1312288	2.574,16731	3.585,684981
Akhisar	2.337,880545	461,23688	17.300,97961	20.100,09704
Alaşehir	2.090,553465	351,152126	3.068,985194	5.510,690785
Demirci	3.315,675363	547,981564	1.641,566312	5.505,223239
Gölmarmara	432,395964	109,002764	1.110,734719	1.652,133447
Gördes	4.067,890827	322,1609768	1.444,955466	5.835,00727
Kırkağaç	1.459,656198	459,8210188	2.074,890821	3.994,368038
Köprübaşı	788,8881	260,172224	6.451,570923	7.500,631247
Kula	7.840,694862	699,4972608	4.317,52464	12.857,71676
Salihli	8.960,276325	978,11896	18.189,49841	28.127,8937
Sarıgöl	2.153,877726	155,8622052	1.217,732296	3.527,472227
Saruhanlı	1.549,418871	314,7910792	15.166,43395	17.030,6439
Selendi	2.882,63976	331,274424	1.190,859736	4.404,77392
Soma	1.854,313461	103,6113624	4.622,393833	6.580,318657
Şehzadeler	2.095,030938	147,15064	15.863,25286	18.105,43444
Turgutlu	5.486,396916	110,393894	9.367,118278	14.963,90909
Yunusemre	2.863,024164	425,252984	1.881,87418	5.170,151328
Toplam	51.123,99993	5.843,611592	107.484,5385	164.452,1501

Tablo 3.9.'da verilen Manisa'nın ilçelerinde ne kadar yıllık olarak kaç metre küp biyogaz elde edileceğinin cevabı verilmiştir. Tablo 3.9. incelenirse en çok biyogaz üreten ilçe tabloda da görüldüğü gibi Salihli olmuştur. Salihli'de hayvan sayının varlığının çok olması üretilecek biyogazı o oranda artırmıştır. Daha sonra Akhisar, Şehzadeler, Saruhanlı, Turgutlu ve Kula takip etmektedir. Bir biyogaz tesisi kurulacaksa bu ilçelerden birine biyogaz tesisi kurup daha fazla verim alınabilir.



Şekil 3.7. Manisa ili toplam üretilebilecek biyogaz miktarı

Manisa genelinde üretilecek biyogaz miktarı yıllık olarak 164 milyon m³ / yıl olduğu gözlemlenmiştir. Bu kadar bir enerji Manisa ilinin ciddi anlamda kalkınmasını sağlamaktadır. Sadece bu enerjinin varlığını Manisa iliyle sınırlandırmamak gereklidir. Enerjinin fazla olması diğer ilçelerdeki hayvanlardan da meydana gelmektedir. Hayvan sayısı fazla olan ilçelerde bu enerjinin arttığı da gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada hayvansal açıdan incelenmiştir. Buna ilaveten bitkisel, endüstriyel ve belediye artıkları ve atıklarda katıldığı zaman ciddi bir potansiyel oluşturacaktır. Biyogaz enerjisini kullanmak bu açıdan oldukça önemlidir.

3.9. Üretilebilecek Elektrik Miktarı

1 m³ biyogazın diğer yakıt eşdeğerleri aşağıda verilmiştir.

- 0,62 litre gazyağı,
- 3,47 kg odun,
- 1,46 kg odun kömürü,
- 0,43 kg bütan gazı,
- 12,3 kg tezek
- 4,7 kWh elektrik enerjisi,
- 0,75 litre benzin'e eşdeğerdir [14, 15, 20, 41, 43].

$$\text{Elektrik Miktarı} = \text{Biyogaz Miktarı} \times 4,7 \times 1000 \text{ kWh (3.6)}$$

Tablo 3.10. Manisa ili üretilebilecek elektrik miktarı

Manisa İlçe Adları	Büyükbaş Hayvandan Üretilebilecek Elektrik Miktarı(MWh)	Küçükbaş Hayvandan Üretilebilecek Elektrik Miktarı(MWh)	Kanatlı Hayvandan Üretilebilecek Elektrik Miktarı(MWh)	Toplam Üretilebilecek Elektrik Miktarı (MWh)
Ahmetli	4.443,316	310,816	12.098,586	16.852,719
Akhisar	10.988,038	2.167,813	81.314,604	94.470,456
Alaşehir	9.825,601	1.650,414	14.424,230	25.900,246
Demirci	15.583,674	2.575,513	7.715,361	25.874,549
Gölmarmara	2.032,261	512,312	5.220,453	7.765,027
Gördes	19.119,086	1.514,156	6.791,290	27.424,534
Kırkağaç	6.860,384	2.161,158	9.751,986	18.773,529
Köprübaşı	3.707,774	1.222,809	30.322,383	35.252,966
Kula	36.851,265	3.287,637	20.292,365	60.431,268
Salihli	42.113,298	4.597,159	85.490,642	132.201,100
Sarıgöl	10.123,225	732,552	5.723,341	16.579,119
Saruhanlı	7.282,268	1.479,518	71.282,239	80.044,026
Selendi	13.548,406	1.556,989	5.597,040	20.702,437
Soma	8.715,273	486,973	21.725,251	30.927,497
Şehzadeler	9.846,645	691,608	74.557,288	85.095,541
Turgutlu	25.786,065	518,851	44.025,455	70.330,372
Yunusemre	13.456,213	1.998,689	8.844,808	24.299,711
Toplam	240.282,799	27.464,974	505.177,331	772.925,105

İlçelerin biyogazdan üretilen elektrik miktarının hesaplanması için 3.6 denklemi kullanılarak Tablo 3.10.'a çıkarılmıştır. Alaşehir ilçesi için büyükbaş hayvan atığından üretilebilecek elektrik miktarı;

$$2.090,553465 \times 4,7 \times 1000 = 9.825.601 \text{ kWh}$$

$$25.900.246,69 \text{ kWh} / 1000 = 9.825,601 \text{ MWh}$$

Alaşehir ilçesi için küçükbaş hayvan atığından üretilebilecek elektrik miktarı;

$$351,152126 \times 4,7 \times 1000 = 1.650.414 \text{ kWh}$$

$$1.650.414 \text{ kWh} / 1000 = 1.650,414 \text{ MWh}$$

Alaşehir ilçesi için kanatlı hayvan atığından üretilebilecek elektrik miktarı;

$$3.068,985194 \times 4,7 \times 1000 = 14.424.230 \text{ kWh}$$

$$14.424.230 \text{ kWh} / 1000 = 14.424,230 \text{ MWh}$$

Alaşehir ilçesi için toplam üretilebilecek elektrik miktarı;

$$9.825,601\text{MWh} + 1.650,414\text{MWh} + 14.424,230 \text{ MWh} = 25.900,246 \text{ MWh}$$

Salihli ilçesi için büyükbaş hayvan atığından üretilebilecek elektrik miktarı;

$$8.960,276325 \times 4,7 \times 1000 = 42.113.298\text{kWh}$$

$$42.113.298 \text{ kWh} / 1000 = 42.113,298 \text{ MWh}$$

Salihli ilçesi için küçükbaş hayvan atığından üretilebilecek elektrik miktarı;

$$978,11896 \times 4,7 \times 1000 = 4.597.159 \text{ kWh}$$

$$4.597.159 \text{ kWh} / 1000 = 4.597,159 \text{ MWh}$$

Salihli ilçesi için kanatlı hayvan atığından üretilebilecek elektrik miktarı;

$$18.189,49841 \times 4,7 \times 1000 = 85.490.642 \text{ kWh}$$

$$85.490.642 \text{ kWh} / 1000 = 85.490,642 \text{ MWh}$$

Salihli ilçesi için toplam üretilebilecek elektrik miktarı;

$$42.113,298 \text{ MWh} + 4.597,159 \text{ MWh} + 85.490,642 \text{ MWh} = 132.201,100 \text{ MWh}$$

Gölmarmara ilçesi için büyükbaş hayvan atığından üretilebilecek elektrik miktarı;

$$432,395964 \times 4,7 \times 1000 = 2.032.261 \text{ kWh}$$

$$2.032.261 \text{ kWh} / 1000 = 2.032,261 \text{ MWh}$$

Gölmarmara ilçesi için küçükbaş hayvan atığından üretilebilecek elektrik miktarı;

$$109,002764 \times 4,7 \times 1000 = 512.312 \text{ kWh}$$

$$512.312 \text{ kWh} / 1000 = 512,312 \text{ MWh}$$

Gölmarmara ilçesi için kanatlı hayvan atığından üretilebilecek elektrik miktarı;

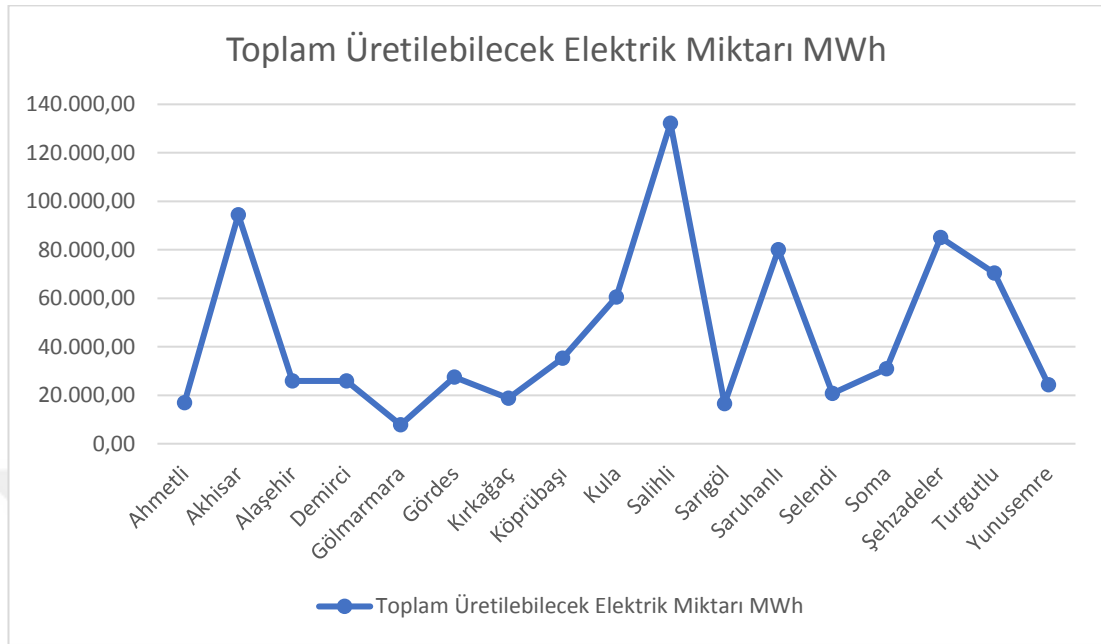
$$1.110,734719 \times 4,7 \times 1000 = 5.220.453 \text{ kWh}$$

$$5.220.453 \text{ kWh} / 1000 = 5.220,453 \text{ MWh}$$

Gölmarmara ilçesi için toplam üretilebilecek elektrik miktarı;

$$3.068,985194 \times 4,7 \times 1000 = 14.424.230 \text{ kWh}$$

$$2.032,261 \text{ MWh} + 512,312 \text{ MWh} + 5.220,453 \text{ MWh} = 7.765,027 \text{ MWh}$$



Şekil 3.8. Manisa ili toplam üretililecek elektrik miktarı

Toplam hayvan sayısı fazla olan ilçelerde yüksek oranda biyogaz üretimi gerçekleşmiştir. Biyogaz üretiminin yüksek olan yerlerde de buna benzer olarak elektrik üretimi de yüksek olmuştur. Manisa ili içinde toplam hayvanlardan yıllık 772.925 MWh biyogazdan elektrik enerjisi üretme potansiyeline sahiptir. Tablo 3.10 görüldüğü gibi yıllık en çok biyogazdan elektrik enerjisi üretme potansiyeline sahip ilçeler ise; 132.201,100 MWh ile Salihli, 94.470,456 MWh ile Akhisar, 85.095,541 MWh ile Şehzadeler, 80.044,026 MWh ile Saruhanlı ve 70.330,372 MWh ile Turgutlu ilçeleri en çok elektrik üretme potansiyeline sahiptir.

Toplam hayvan sayısı az olan ilçelerde biyogaz üretimi az olmaktadır. Hayvan sayısı en az olan ilçe Gölarmarmara'dır. Buna bağlı olarak biyogaz üretim miktarı düşüktür. Biyogaz üretim miktarı da bağlı oranda elektrik üretim oranı da azdır. Biyogazdan elektrik enerjisi üretme potansiyeline sahip en az ilçeler ise; Gölarmarmara 7.765,027 MWh, Sarıgöl 16.579,119 MWh ve Ahmetli 16.852,712 MWh ilçeleridir. Manisa ili biyogazdan enerji üretimi için uygun bir şehirdir. Gerek verimli topraklarına da gübre ihtiyacını karşılamaktadır.

3.10. Regresyon Analizi

Regresyon analizi; bağımlı değişken veya bağımsız değişkenin matematiksel bir fonksiyon cinsinden yazılmasıdır. Regresyon analizinde değişkenlerden birinin artması veya azalmasına karşılık diğer değişkenlerin verdiği cevapları inceleyen bir analizdir [44, 45].

Ünlü İngiliz bilim adamı Francis Galton regresyon analizini ilk olarak kullanmıştır. Galton çalışmalarında ebeveynlerin boyları ile çocuklarının boyları arasındaki yapıyı incelemiştir. Genellikle uzun boylu aile bireylerinin çocukların uzun boylu, kısa boylu olan aile bireylerinin çocukların kısa boylu olduğu sonucuna varmıştır. Sonuç olarak çocukların boylarının ana kütle boy ortalamasına yaklaşmaya yakın olduğunu gözlemlemiştir. Bu eğilime ise ortaya doğru çekilme eğilimi olarak adlandırılmıştır [44].

1805 yılında ünlü Fransız Matematikçi Adrien Marie Legendre, Barcelona ile Dunquerque arasındaki meridyen mesafesini metre cinsinden hesaplarken, en küçük kareler yöntemini kullanmıştır. 1801 yılında Carl Friedrich Gauss, Ceres astroidinin yörüngesini belirlemek için uğraşıyordu. Gauss Ay'ın hareketi teorisinde kullanılan benzer yöntemler kullandı. Taylor'un sonlu elamanlar yöntemi ile trigonometrik serilere yaklaşmak için en küçük kareler yöntemini kullandı. Ve 1809 yılında bu yöntemi açıkladı. Bunu daha önce Laplace, Euler, Lambert ve Langrage tarafından da ele alınmıştır [44, 45].

3.10.1. Modeller

Regresyon analizinin temel amacı modelleri tanımlamaktır. Ölçülebilen veya sayılabilen verilerden deneysel sistemi açıklayan fonksiyonlara denklere denir. Bir model aşağıdaki gibi sistemlerden oluşmaktadır [44].

$$y=f(x;a) \quad (3.7)$$

Sistemler 3 ana temel veriden oluşmaktadır. Fonksiyon (f), değişkenler (x) ve parametrelerden (a) oluşmaktadır. Matematiksel denklemler sonucunda fonksiyonlar oluşmaktadır. Bu tarz fonksiyonlar; üstel, trigonometrik, hiperbolik, eliptik ve logaritmik fonksiyonlar gibidir. Fonksiyonlar için iki model keşfedilmiştir.

- Mekanistik veya yapılandırılmış modeller,

- Ampirik veya yapılandırılmamış modellerdir [46].

Mekanistik modeller; yapılandırılmış modellerdir. Bu modellerle alakalı alt yapıya sahibizdir. Model hakkında gerekli bilgi ve belgeleri elde edebiliriz. Ampirik modeller de ise çıkışlar mevcuttur. Ama yapılandırılmamış modellerdir [46].

Parametreler, fonksiyonun diğer bir bileşenidir. Fonksiyon; eğri türünü, gerçek şekli, konumu ve oranı parametre değeriyle belli olur. Mekanik modellerde, parametreler sistem için gerekli olan bilgileri nedeniyle önemlidir. Ampirik modellerde, parametreler eğriyi kesin olarak belirlemek ve kesin hesap yapmak için önemlidir.

Model fonksiyonu içinde bulunan parametrelerin matematiksel ifadelerine göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar lineer modeller ve non-lineer modellerdir. Lineer modeller oldukça basit modeller olup, kolaylıkla hesaplanan ve sonuçları elde edilen modellerdir. Gerçek hayatta modellemek için pek tercih edilmezler. Non-lineer modeller ise oldukça karmaşık denklemler ve matematiksel ifadeler içermektedir. Bu tez kapsamında ortaya çıkan problemin çözülmesi için non-lineer model kullanılmıştır.

3.10.2. Regresyon Analizinin Amacı ve Kullanımı

Non-lineer regresyon analizinin amacı şunlardır:

- Modelin geçerliliğini kontrol etmek (hipotezi doğrulamak)
- Modeli karakterize etmek (parametreleri tahmin etmek)
- Sistemin davranışının sonucuna varmak (enterpolasyon ve kalibrasyon).

Model doğrulama veya kontrol etmek regresyon analizinin önemli bir parçasıdır. Verilen bir probleme ait en iyi uyan eğriyi ulaşmak sistemi tanımlamak ve sonuca varmak için en iyi sonuçlardan biridir. İstenilen problem ile ulaşılan eğri arasındaki başarının, modelin her zaman uyumlu olduğu anlamına gelmez. Modelin karakterize edilmesi regresyon analizinin doğrudan sonucudur. Sistemin davranışının sonucuna varmak için tahmin (enterpolasyon) veya ters tahmin (kalibrasyon) yararlıdır [45].

3.10.3. Grafiksel ve Sayısal Yöntemler

Non-linear denklemlerde kullanılan farklı analiz yöntemleri bulunmaktadır. Grafiksel yöntem ve sayısal yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Non-linear denklemleri lineer denklemler haline dönüşerek daha kolay çözüm yapılmaktadır. Lineer hale gelen denklemler grafik çizim yoluyla kolaylıkla analiz edilmektedir. Analiz edilen denklemler non-lineerden lineere geçerken veri hataları değişikliğe uğrarlar. Bunun sonucunda ise veri hataları dönüştürme işlemi sonucunda daha büyük hatalar yol açmaktadırlar. Başka bir yöntem olarak dönüşümlerde kullanılan farklı dönüşüm formülleri bulunmaktadır. Bu dönüşüm formüllerin kullanılması grafik çizim yönteminden tamamen saptığı anlamına gelmez. Bu yüzden grafik çizim yöntemi sistem için ilk basamak olmalıdır. Çünkü sapmalar varsa daha ilk basamakta ortaya çıkmaktadır.

Non-linear denklemlerde sayısal yöntemler grafiksel yöntemlere göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Grafiksel yöntemlerde az sayıda verilerle karşılaşılan bir sistemde başarısız olmaktadır. Ancak sayısal yöntemlerin kullanılmasıyla parametrelerin yanlış olduğunu kolay bir yaklaşım ve hızlı bir sonuçla bize cevap vermektedir. Sayısal analize başlamadan önce grafiksel yorum yapılmalıdır. Doğru bir denklemde yapılan grafiksel yorum başarılı olursa bize deneyin gerçek sonuca götürmesine yardımcı olacaktır. Sonuç olarak hem grafiksel hem de sayısal yöntem sistemlerde kullanılmaktadır.

3.10.4. Non-Linear Regresyon Analizinde Modeller

Non-linear regresyon analizinde kullanılan modeller için genel denklem aşağıdaki denklem 3.8'deki gibi elde edilmektedir.

$$y_i = f(x_i, Q) + \epsilon_i \quad (3.8)$$

Burada hata terimi olan ϵ bağımsız olarak alınabilir. Non-linear regresyon analizinde bazı adımlar gerçekleştirilerek yapılmaktadır. Bu adımlar:

- 1) Non-linear denklemlerde oluşan regresyonlar, lineer denklemlerden oluşan regresyonlara göre daha çok geniş aralığa hitap ederler. Regresyonlar sonucu lineerleştirmeye veya doğrusal olmasına gerekmez. Lineer veya doğrusal olmayan bir regresyonu, fenomeni uydurmak için oldukça fazla seçim

imkanlarımız vardır. Sonuç olarak en küçük kareler yöntemini kullanmamıza olanak sağlar.

- 2) Non-linear regresyon, f fonksiyonunun non-lineerden lineere dönüştüğü hallerde doğrusal regresyonun ve gerekli dönüşümlerin kullanımı açısından uygun olmaktadır.
- 3) Non-linear regresyon, incelenen sistemin yani f fonksiyonu anlamaya çalışmasına yardımcı olmaktadır. F fonksiyonu sistemlere göre polinom, rasyonel, üstel veya trigonometrik gibi çeşitli tiplerde olabilmektedir. Lineer regresyon modelleri ise üstünkörü, hassas olmayan cevaplar vermektedir.

Non-linear regresyon modelleri için kullanılan bazı denklem tipleri aşağıda verilmiştir.

Polinom fonksiyonu için denklem:

$$y = a_0 + a_1x^1 + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + \dots + a_nx^n \quad (3.9)$$

Üstel fonksiyon için denklem:

$$y = a_0 + a_1e^{x^1} + a_2e^{x^2} + a_3e^{x^3} + a_4e^{x^4} + \dots + a_ne^{x^n} \quad (3.10)$$

Trigonometrik fonksiyon için denklem:

$$y = a_0 + a_1\sin x^1 + a_2\sin x^2 + a_3\sin x^3 + a_4\sin x^4 + \dots + a_n\sin x^n \quad (3.11)$$

Rasyonel fonksiyon için denklem:

$$y = \frac{a_0 + a_1x^1 + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + \dots + a_nx^n}{b_0 + b_1x^1 + b_2x^2 + b_3x^3 + b_4x^4 + \dots + b_nx^n} \quad (3.12)$$

Bu fonksiyonlar birden fazla girdi içeren veya çok değişkenli hallerde olan farklı fonksiyonlar ortaya çıkmıştır. Bazı özel fonksiyonlar şunlardır: Euler, Minkowski, Legendre, Gamma, Riemann, Spence, Bessel, Ackermann, Weistrass, Scorer, Hurwitz, Kummer, Lambda, Kronecker...

3.11. Optimizasyon

Bir fonksiyonun kararlı yapılar oluşturmak amacıyla bazı değerleri maksimize, bazı değerleri ise minimize etmeye denir. Bir diğer deyişle bir problem için aranan sonuç için en iyilemedir. Optimizasyon yapmak için maksimum ve minimum problemini tanımak gereklidir. Mühendislik alanında optimizasyon ise, toplam maliyeti en aza indirme, üretim süresini azaltmak, iş gücünü en aza indirme, ekipmanları oldukça az kullanma, hammadden en çok verimi elde etme, kapasiteyi arttırma ve karı artırma olarak gerçekleşmektedir. Mühendislikte prototip tasarlamada, ihtiyaçların belirlenmesinde veya problemin tanımlanmasında optimizasyon yaklaşımına sevk etmektedir. Optimizasyon yaklaşımı için, optimizasyon algoritması kurarak en başarılı sonuca ulaşmak istenmektedir.

Tasarım problemini çözmek için geleneksel veya geleneksel olmayan yöntemler vardır. Geleneksel yöntemler; deneysel formüller kullanılarak az sayıda işlemler gerçekleştirilen kolay yöntemlerdir. Langrange çarpanları ve kısıtlı varyasyon gibi yöntemler geleneksel yöntemlere örnek verilebilir. Geleneksel olmayan yöntemler; belirli bir algoritmayı takip eden sezgisel olarak sonuca ulaşan yöntemlerdir. Çok sayıda matematiksel işlemleri yakınsayarak, algoritmaları kullanan sistemlerdir.

3.11.1. Tek Amaçlı Optimizasyon

Tek amaçlı optimizasyondaki hedef sadece tek bir amaç fonksiyonun olmasıdır. Burada f amaç fonksiyonu, Q karar değişkenleri, Q^L tasarım değişkeni için alt sınır, Q^U tasarım değişkeni için üst sınır, h ve g kısıtları ifade etmektedir. Minimizasyon veya maksimizasyon etmek istediğimiz eşitlikler ve eşitsizler aşağıdaki gibidir [47].

$$f=(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n) \quad (3.13)$$

$$h_i(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n) \geq 0, i=1,2,3,4, \dots, a \quad (3.14)$$

$$g_j(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n) = 0, j=1,2,3,4, \dots, b \quad (3.15)$$

$$Q^L \leq (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n) \leq Q^U \quad (3.16)$$

3.11.2. Çok Amaçlı Optimizasyon

Çok amaçlı optimizasyondaki hedef sadece çok amaçlı fonksiyonun olmasıdır. Burada f amaç fonksiyonu, Q karar değişkenleri, Q^L tasarım değişkeni için alt sınır, Q^U tasarım değişkeni için üst sınır, h ve g kısıtları ifade etmektedir. Minimizasyon veya maksimizasyon etmek istediğimiz eşitlikler ve eşitsizler aşağıdaki gibidir [47].

$$f_1(Q_1, Q_2, \dots, Q_n), f_2(Q_1, Q_2, \dots, Q_n), \dots, f_t(Q_1, Q_2, \dots, Q_n), t=1,2,3 \dots a \quad (3.17)$$

$$h_i(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n) \geq 0, i=1,2,3,4 \dots b \quad (3.18)$$

$$g_j(Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n) = 0, j=1,2,3,4 \dots c \quad (3.19)$$

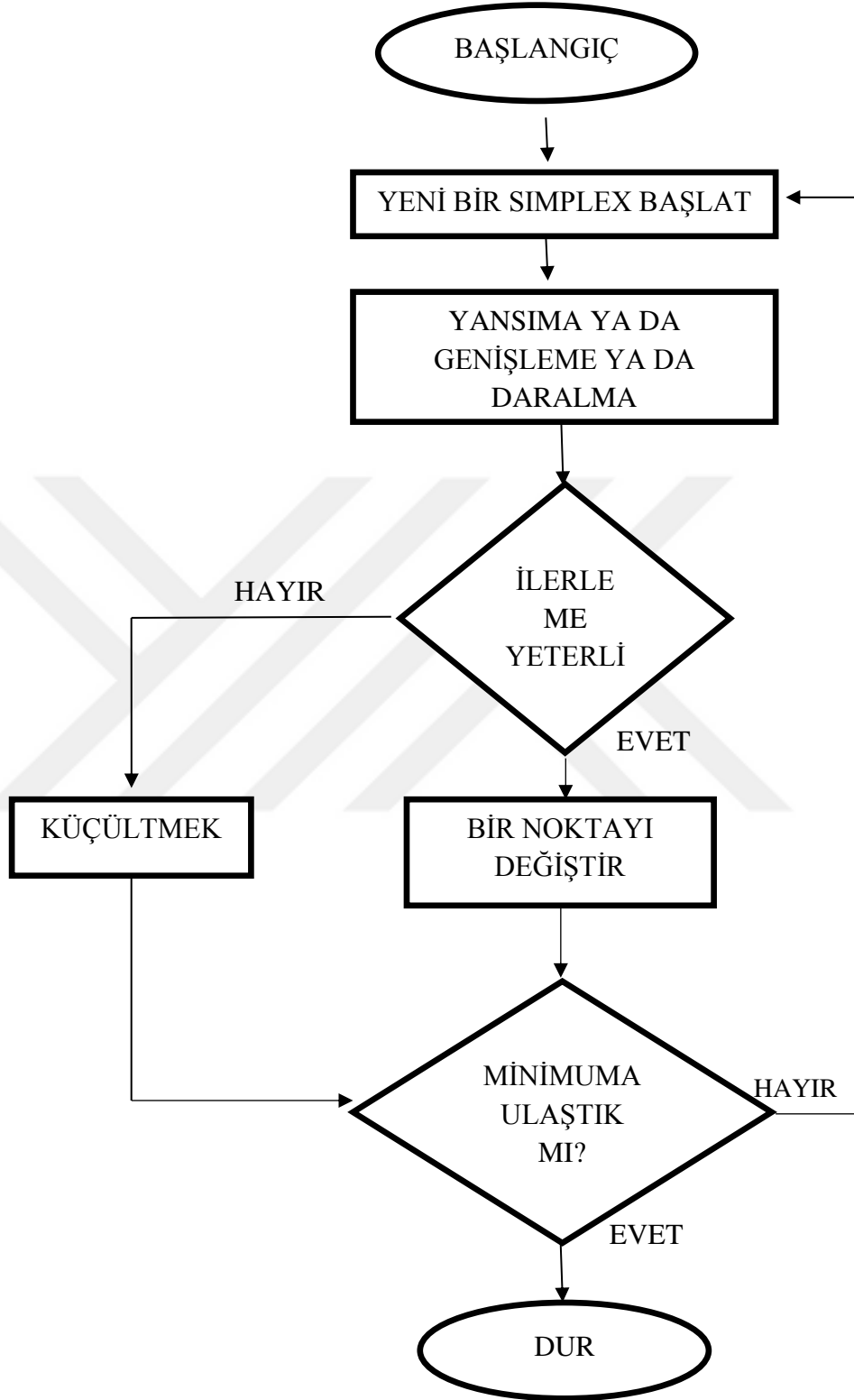
$$Q^L \leq (Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, \dots, Q_n) \leq Q^U \quad (3.20)$$

3.11.3. Stokastik Optimizasyon Algoritmaları

Stokastik optimizasyon yöntemleri, kısıtlamalarla birlikte amaç fonksiyonlarında, algoritmanın kendisinde veya her ikisinde de sezgisel unsurlara dayanan optimizasyon algoritmalarıdır. Nelder-Mead algoritması, Simulated Annealing Algoritması, Random Search Algoritması ve Different Evolution Algoritması örnek gösterilebilir [48].

3.11.3.1. Nelder Mead Algoritması

Nelder-Mead algoritması (NMA), yerel minimumu aramak ve çok boyutlu optimizasyon uygulamaları için oldukça kullanışlı bir algoritmadır [49, 50]. Geleneksel metotların yanı sıra bu algoritmada türevler ve integralleri hesaplamak zorunda değilsiniz. Bunun yerine geometri bir simpleks oluşur. Yakınsama hareketiyle sonuca gidilir. Algoritmada dört nokta esastır. Yansıma, genişleme, daralma ve küçülme mevcuttur. Her tepe noktası için iterasyon önemlidir. En kötü tepe noktası yeni iterasyonla yer değiştirir. En iyi tepe noktası küçülecektir. İstenen değere yaklaşacaktır. Doğrusal olmayan kısıtlamalar, karışık tamsayı ve sürekli tasarım değişkeni içeren optimizasyon problemleri için kullanılmaktadır [51, 52]. Nmaksimize ve Nminimize gibi kısıtlamaların kullanılmasına yardımcı olur [53].



Şekil 3.9. Nelder mead algoritma akış şeması [51,52].

3.11.3.2. Simulated Annealing Algoritması

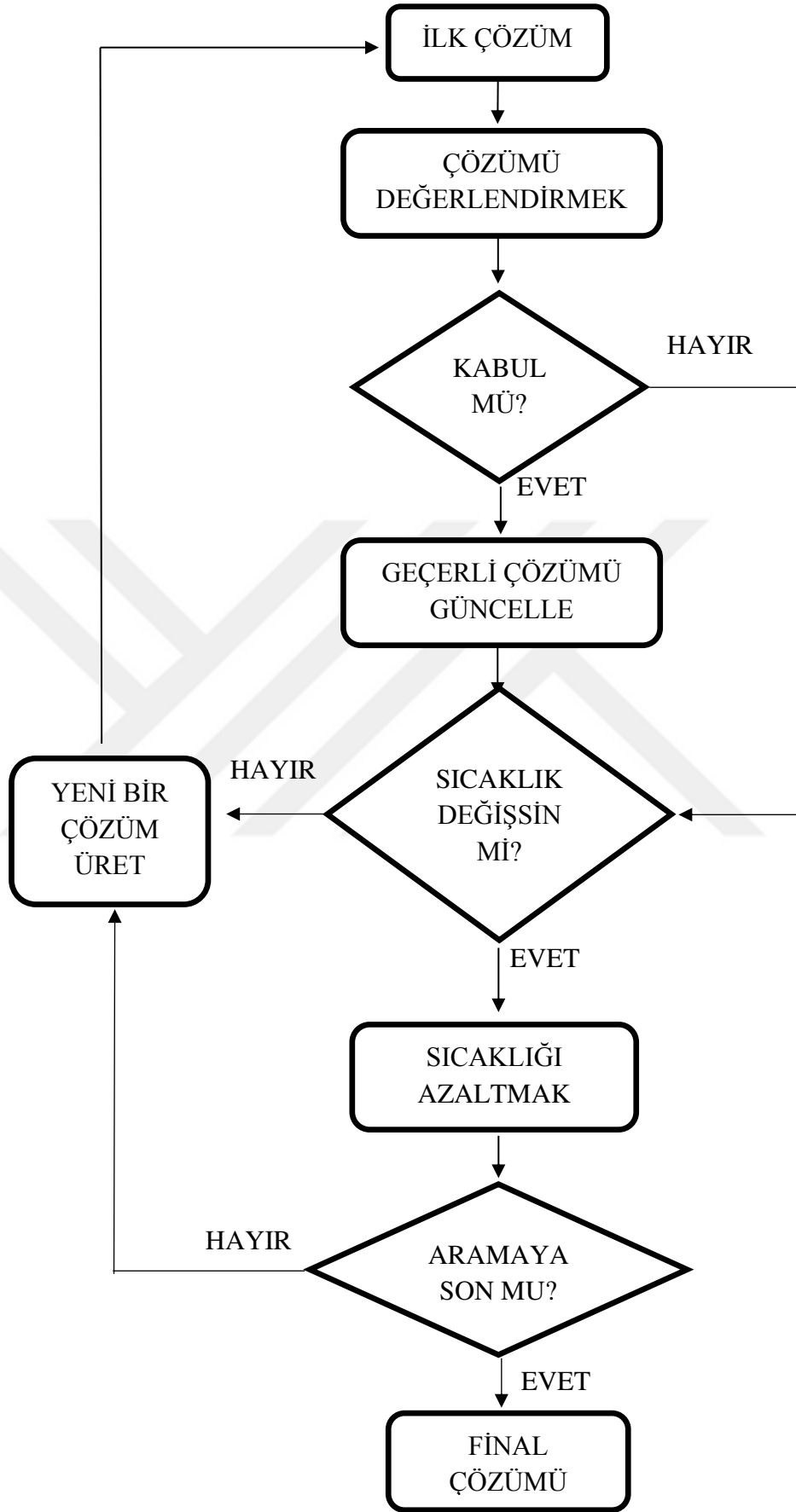
Simulated Annealing algoritması (SAA) birçok mühendislik problemlerinde kullanılan uygulamalardır. Fonksiyon küresel optimum değerine yaklaşmasını sağlar. Minimizasyon problemlerinde minimum fonksiyon değerini ulaşmak için ısıtılmış katıların ısı tavlama simülasyonuna dayanır. Ayırık ve sürekli optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılır. SAA algoritması her yenilemede rastgele yeni bir nokta oluşturur. Durdurma ölçütlerinden herhangi bir algoritma karşılaşırsa işlem durur. Yeni noktanın mevcut noktadan uzaklığı Boltzmann sabitinin olasılık dağılımına dayanmaktadır. Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir [44, 45, 48, 54, 55, 56].

$$P(E) = e^{\frac{-(E_{eski}-E_{yeni})}{kT}} \quad (3.21).$$

$P(E)$, enerji seviyesine ulaşma olasılığıdır. E_{eski} ilk değer, E_{yeni} yeni değerdir. Boltzmann sabiti k , T sıcaklık değeridir.

Algoritmanın akış şeması aşağıdaki gibidir:

1. Başlangıç için başlangıç vektörü x_i ve yüksek bir sıcaklık değeri belirlenir.
2. Rastgele bir tasarım noktası oluşturulur. Önceki fonksiyon değerleriyle karşılaştırılarak, arasındaki fark bulunur.
3. Yeni noktanın geçerli noktadan iyi olup olmadığına bakınız.
4. Rastgele seçilen noktanın değeri daha büyükse, nokta kabul edilir ve iterasyon değeri x_{i+1} bir artırılır. Optimal sonuç kabul edilir.
5. Eğer x_{i+1} reddelirse, algoritma x_{i+1} yeni bir tasarım noktası üretir. Bununla birlikte algoritmanın daha kötüye gittiği kabul edilir [48, 51].

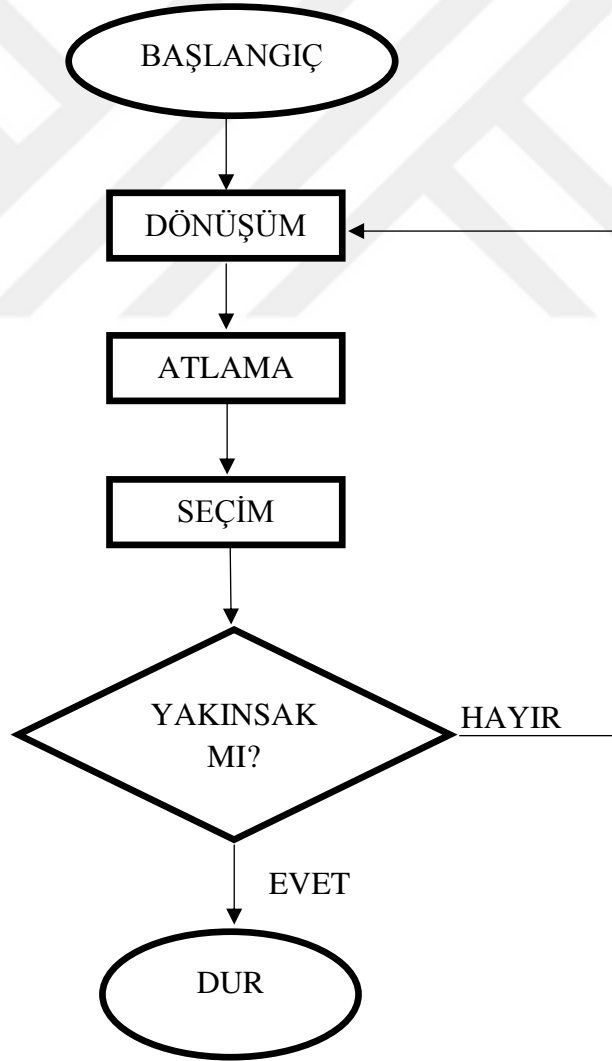


Şekil 3.10. Simulated annealing algoritma akış şeması [44, 45].

3.11.3.3. Differential Evolution Algoritması

Differential Evolution Algoritması (DEA) evrimsel bir programlama dilidir. DEA, Price ve Storn tarafından 1997 yılında genetik algorithmadan geliştirilmiştir [57]. Çok az sayıda kontrol parametresi içerir. Bu nedenle sürekli değişkenlerle başa çıkmak için geliştirilmiş bir yöntemdir. En iyi sonucu bulmak için karmaşık yapısal kompozit tasarım problemlerine kullanılır. Algoritmanın parametrelerinde popülasyon boyutu, çaprazlama ve ölçeklendirme önemli parametrelerdir [44, 45, 58].

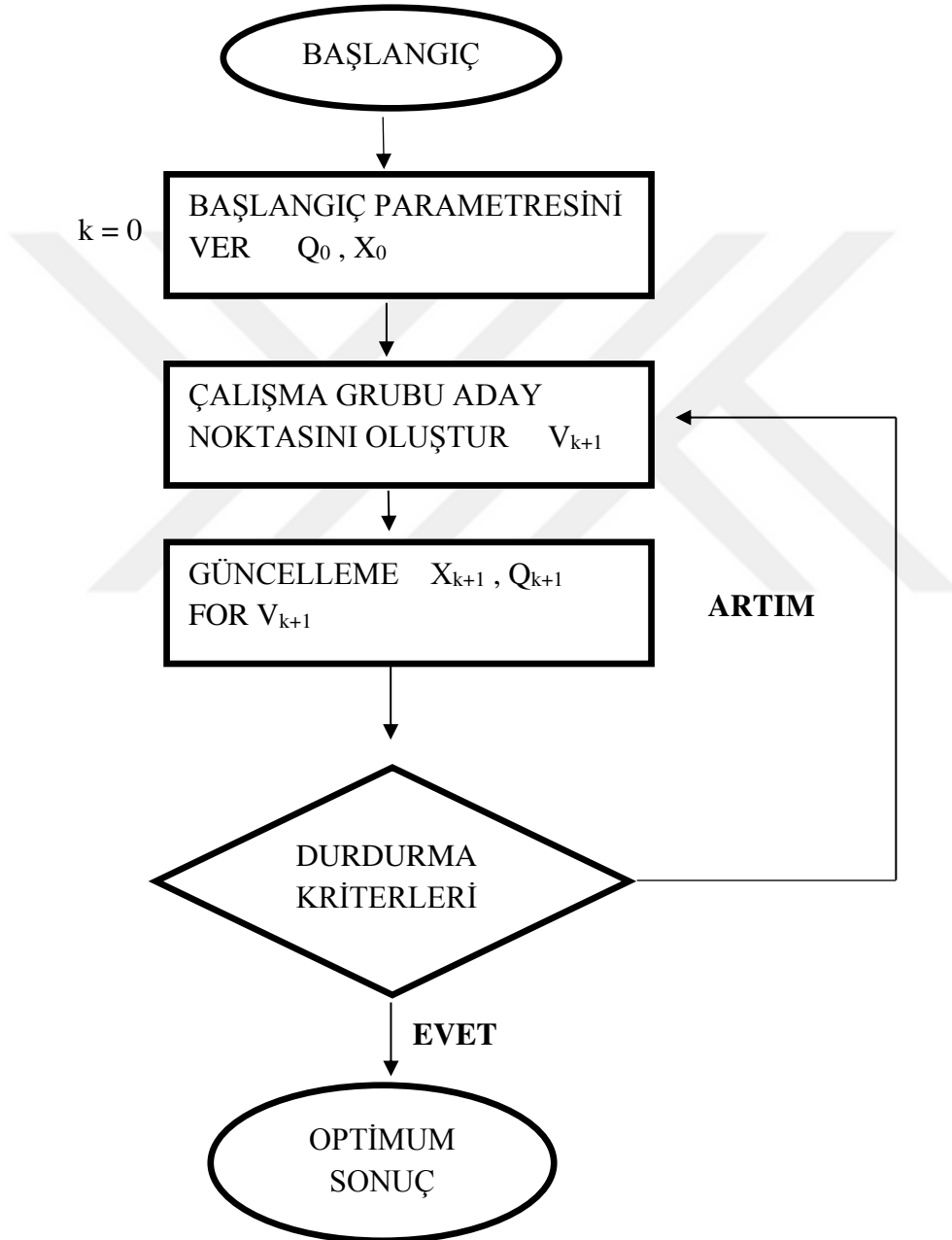
Problemle ilgili herhangi bir bilgi mevcut değilse ilk popülasyon rastgele seçilir. Buna ek olarak sapmalar üretilir. Ortaya farlarından yeni bir sapma değeri elde edilir. Ortaya çıkan vektör popülasyondan küçük ise yeni vektörün yerine geçer, büyükse yeni değer üretilir. Ve iterasyon böylelikle tekrar eder.



Şekil 3.11. Differential evolution algoritma akış şeması [44, 45].

3.11.3.4. Random Search Algoritması

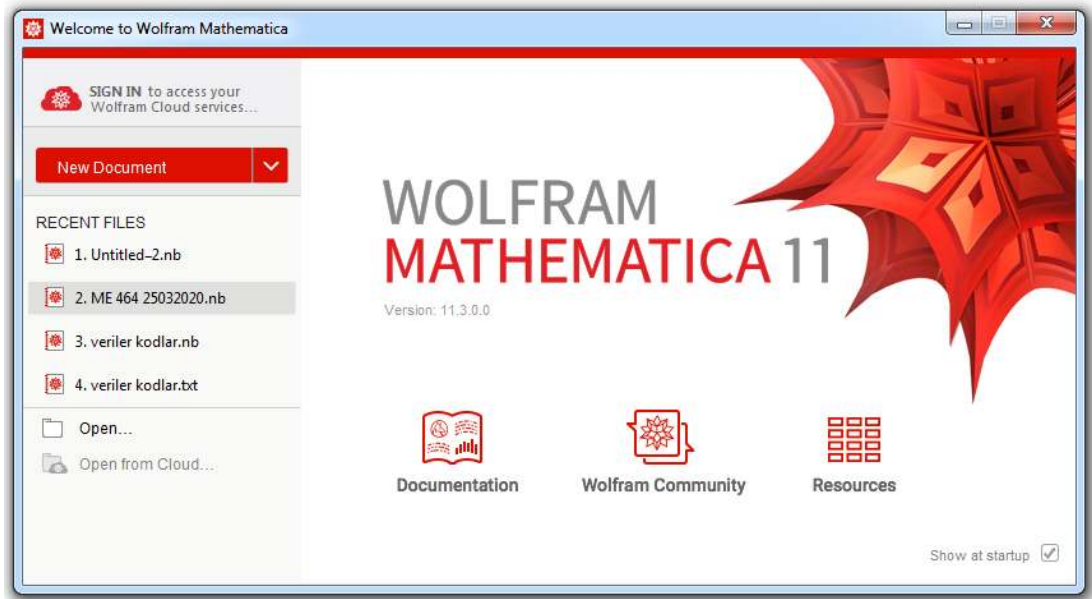
Random Search Algoritması (RSA), Amerika’da New Mexico’da bulunan Los Alamos Labratuvarında atom bombasının patladıktan sonra nötronlara karşı bir model olarak tasarlanmıştır. Monte Carlo yöntemi, doğrudan arama, türevsiz veya kara kutu yöntemi olarak da bilinir [59]. Bütün girdi ve çıktılarımızı görmemizi sağlayan belirsizlik ve değişkenler altında iyi kararlar vermemizi sağlayan bir yöntemdir.



Şekil 3.12. Random Search algoritma akış şeması [44, 45].

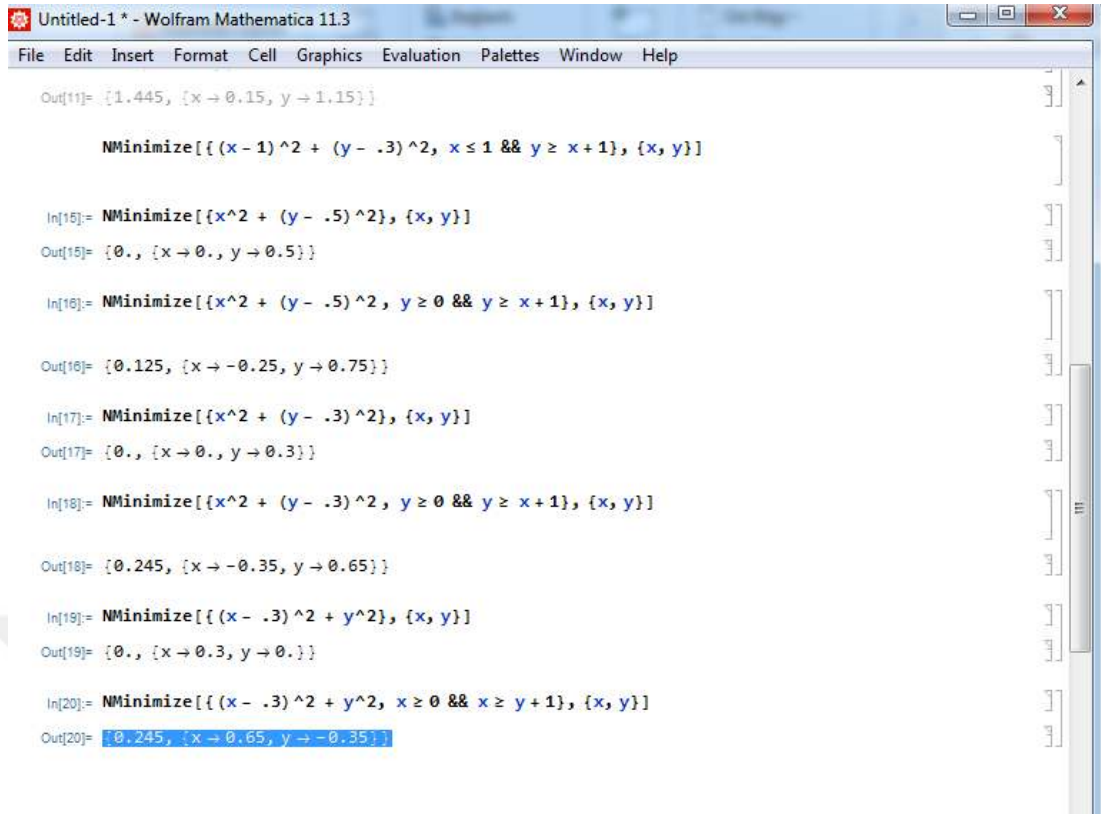
3.12. Wolfram Mathematica ve Optimizasyon

Wolfram Mathematica optimizasyon problemleri için kullanılan genel matematiksel sembolik, nümerik ve sayısal çözümler için kullanılır. Mathematica programı diğer birçok dillere göre oldukça çözümü kolay ve anlaşılır bir programdır. Matlab programında modelleme için Artificial Neural Network (ANN), optimization, symbolics math, fuzzy logic, curfuting ve istatistikleri kullandığımız her bir operasyon için Mathematica sistemi kurulduğu zaman tek bir sistemden kontrol edilir. Tezimde Mathematica programının, Wolfram Mathematica 11 sürümü kullanılmıştır. Aşağıdaki şekil 3.13 Wolfram Mathematica 11 giriş ekranı verilmiştir. New Document ile yeni çalışma sayfası açılmaktadır. Recent Files ekranında geçmişte yaptığımız çalışmalar yer almaktadır. Documentation istediğimiz alanda ilgili dokümanlara, belgelere ulaştığımız alandır. Wolfram Community sayfası bizi wolfram operatörlerinin kullandığı topluluğa internet sitesine yönlendirmektedir. Resources ise kaynakların olduğu yerdir. Bizi burası da internet sitesine yönlendirmektedir.



Şekil 3.13. Wolfram mathematica 11 giriş ekranı

New Document ekranını açtıktan sonra işlemlerin yapıldığı ekran ise aşağıdaki şekil 3.14'te gösterilmiştir. Yaptığımız işlemleri matematiksel olarak hesaplanan alandır. Inputlar bizim girdiğimiz hesaplamamızı istediğimiz değerlerdir. Outputlar ise mathematica'nın bizim için hesapladığı elde ettiği sonuçlardır. In[15] yazması bizim için 15 tane işlem yapıldığını göstermektedir.



Şekil 3.14. Wolfram mathematica 11 işlemlerin yapıldığı ekran

“NMinimize” ve “NMaximize” kısıtlı global optimumu bulmak için algoritmalar uygulanır. Algoritmalar; türevlenebilir, sürekli olmayan, yerel minimum ve yerel maksimum noktaları için çözümler elde edilebilir.

NMinimize problemi kullanılarak sayısal problemler çözülür:

```

In[1]:= NMinimize[x^6 - 4x^3 - x^2 + x, x]
Out[1]:= {-4.352714655148458, {x -> 1.2922897566465754}}

```

Bazı problemleri optimize ederken kısıtlamalar olmadan sonuca ulaşılabilir. Bu durumda optimizasyon zorlanabilir. Ama kısıtlamalara ihtiyaç duymazlar. NMaximize problemi kullanılarak sayısal problemler çözülür:

```

In[2]:= NMaximize[Sin[x + y] + Cos[x + y] - x^2 - y^2, {x, y}]
Out[2]:= {1.2342139280422921, {x -> 0.22831235228381624, y -> 0.22831235228381624}}

```

FindMinimum ile sayısal değerlerin minimum noktası bulunur:

```
In[3]:= FindMinimum[ $2x^3 - 7x^2 + x$ , x]
```

```
Out[3]:= {-10.406849195277523, {x → 2.2595730873838082}}
```

FindMaximize ile sayısal değerlerin minimum noktası bulunur:

```
In[4]:= FindMaximum[ $2x^6 - 7x^3 + x$ , x]
```

```
Out[4]:= 0.1456965035248258, {x → 0.21887458767771187}}
```

$(x-0.3)^2 + y^2$ fonksiyonu için bazı kısıtlara göre minimum değerini bulalım:

```
In[4]:= NMinimize[{ $(x - .3)^2 + y^2$ }, {x, y}]
```

```
Out[4]:= {0., {x → 0.3, y → 0.}}
```

Önce minimum noktaları bulundu. Kısıtlanan noktalar için değerler aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$x \geq 0$ ve $x \geq y+1$

```
In[4]:= NMinimize[{ $(x - .3)^2 + y^2$ ,  $x \geq 0 \&\& x \geq y + 1$ }, {x, y}]
```

```
Out[4]:= {0.245, {x → 0.65, y → -0.35}}
```

Yukarıdaki hesaplamalara göre değerler aralıklar arasındadır. NMinimize için dörtgensel bir bölgeye ihtiyaç duyar. Bu durum başlangıç noktasını göstermeye eş değerdir. İlk bölge alt ve üst sınır verir. Daha sonra $a \leq x \leq b$ eşitsizliğinde değişkenler $\{x, a, b\}$ eklenerek kısıtlamalar halinde çözülür. Değişkenler için kısıtlama veya başlangıç bölgesi belirtilmemişse sistem kendisi başlangıç bölgesi olan $-1 \leq x \leq 1$ olarak kendisi çözüm sağlar.

NMinimize ve NMaximize otomatik olarak çeşitli optimizasyon yöntemlerine sahiptir. “SimulatedAnnealing”, “DifferentialEvolution”, “RandomSearch” ve “NelderMead” olmak üzere yöntemler kullanılır.

Modellemede çok fazla data olduğu için ekrana basıp sürekli değerleri göremiyoruz. Aynı yapay zekada olduğu gibi bir şeyleri öğretirken birçok şeyi değiştirmek gerekiyor. Değiştirmen gereken şey yapay zekada mimarinin yapısıdır. Burada ise fonksiyonel yapı değiştirilmelidir. Evaluate Notebook kodu ile sadece tek satırlar değil komple bütün kodlar çalışıyor. R2test değeri -0,75 gibi değerler çıkması sonucun anlamsız olduğunu gösteriyor. Ve sistemin çalışmasındaki kodlar yanlış

olduğu sonucuna varılıyor. Modellemelerde farklı varyasyonlar denemek sistemin sonucunu o kadar doğruya götürmektedir. Sistemde failed to converge uyarısı alınırsa sistemde kullanılan iterasyon yetmedi. İterasyon sayısı artırılır ya da model terk edilerek, yeni modele geçilir. Rsquared ve AdjustedRSquared değeri, datanın ve seçtiğimiz modelin birbiriyle uyumlu olduğunu ve satır sayısının yeterli olduğunu gösteren değeri olarak birbirine yakın olmalıdır.

Modellemede istenilen mühendislik sınırları içinde kalmıyorsa o fonksiyon model olarak kullanılmaz. Bazı rasyonel modellerde paydayı sıfıra yaklaştıran değeri asimptot olarak fonksiyonu sonsuza götürmektedir. Paydadan alınacak herhangi bir enteresan değeri sistemi sonsuza yaklaştıır. Sistemin başarılı ve gerçekçi bir model olmasını istiyorsak sadece matematik anlamında istatistiksel değeri başarılı olmasına bakılmaz aynı zaman gerçekte ilişkili konunun uzmanlarından görüş alınarak yapılmalıdır. Sistemin sınırlarını uygun olarak belirlenmelidir.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Regresyon Analizi ve Modelleme Sonuçları

Matematiksel modelleme optimizasyon sürecinin ilk adımıdır. Modellemede tahminlerin doğruluğunu test etmek amacıyla regresyon analizi kullanılmaktadır. Bu yöntem iki bölümden oluşmaktadır. Tüm veriler iki bölüm şeklinde ayrılmıştır. Verilerin ilk bölümü %80 eğitim için, ikinci bölümü ise %20'si test amacıyla ayrılmıştır. Eğitim sürecindeki amaç regresyon modellerinde ulaşılan katsayıları kullanarak deneysel ve öngörülen değerler arasındaki hatayı en aza indirmektir. Daha sonra regresyon modelinin tutarsızlıklarını en aza indirmek için tahmin sonuçlarından test adımı gerçekleştirilecektir. Bu süreç aday olan modellerin tahminleri hakkında bir kavrayışa bir sonuca varmamızı sağlar. Aday modellerin öngörülen değerler için sınırlılığının kontrol edilmesi gerçekçi olup olmadığını göstermek oldukça önemlidir. Bunun sonucunda uygun modeller elde edildikten sonra R2eğitim ve R2testing değeri için verilen her modelin maksimum ve minimum değerleri hesaplanır. Bu prosedür seçilen modellerin gerçeklik için gerekli olan birçok kriteri karşılar. Bizim problemimiz yapılan hesaplamalar sonucu 2 adet giriş ve 4 adet çıkıştan ve 17 adet veri kümesinden oluşmaktadır. Bunların programda nasıl hesaplandığı aşağıda açıkça belirtilmiştir.

Her bir çıkış için ayrıca 4 adet model üretilecektir. Değişkenleri;

X1: Manisa ilinin boylam koordinatları,

X2: Manisa ilinin enlem koordinatlarıdır.

YY: Manisa ili için her model için elde edilen çıkış değerleridir.

Her bir çıkış değerini çıkış1, çıkış2, çıkış3 ve çıkış4 olmak üzere yapılan hesaplamalar ve regresyon analizi sonucu sonuçları elde edilmiştir. R2eğitim ve R2testing için %80 ve %20 oranında ayırmalar yapıldı. Bu hesaplamalar yapılırken teste ve eğitime ayrılan veriler rastgele seçilmiştir. Eğitime ayrılan veriler;

X11: Manisa ilinin boylam koordinatları için elde edilen %80 eğitim verileridir.

X22: Manisa ilinin enlem koordinatları için elde edilen %80 eğitim verileridir.

YY2: Manisa ili için her model için elde edilen %80 eğitim verileridir.

Eğitime veriler ayrıldıktan sonra, rastgele seçim yapılarak test içinde veriler ayrılır. Eğitimde olan verilerden bir matematik denklemi oluşturulur. Oluşan matematik denklemin R2eğitim değerine bakılır. Eğitim değerinin 0,90 civarı veya daha yüksek olması amaçlanır. Eğitim değerinin yüksek olması demek, modelimizin cevap verilen katsayıların o kadar gerçek değerlere yakın olduğunu göstermektedir. Ve modelimizin daha başarılı olduğu anlamına gelmektedir. Gerçekte istenen değer 1 olması gerekmektedir. Ama asla bunun olması mümkün değildir.

Model oluşturulduktan elimizde ayrılan veriler test için işlem yapılmalıdır. Test için rastgele %20 veriler ayrılmaktadır. Test için ayrılan veriler ise;

XX1: Manisa ilinin boylam koordinatları için elde edilen %20 test verileridir.

XX2: Manisa ilinin enlem koordinatları için elde edilen %20 test verileridir.

YY3: Manisa ili için her model için elde edilen %20 test verileridir.

Test verilerini testdata adlı matris formatında görülebilir. YY3predicted ise regresyon analizi sonucu test verileri için tahmin edilen değerdir. Bu verilerin ise R2test değerine bakılmalıdır. R2test değerine bakılmalıdır. R2test değerı ise aşağıdaki hesaplanmaktadır. SSE (Açıklanabilir varyasyon), denklem 4.1 görüldüğü gibi, hesaplanan değer ile regresyon analizi sonucu elde edilen diğerlerinin toplam farklarıyla bulunur.

$$SSE = \sum_{i=1}^{Length[XX1]} (YY3[i] - YY3predicted[i])^2 \quad (4.1)$$

SST (Toplam Varyason) bulmak için öncelikle hesaplanan değerlerin ortalaması alınır. Denklem 4.3 görüldüğü gibi alınan ortalama sonucu ile hesaplanan değerler arasındaki farkların toplamı bize toplam varyasyonu vermektedir.

$$ybar = Mean[YY3] \quad (4.2)$$

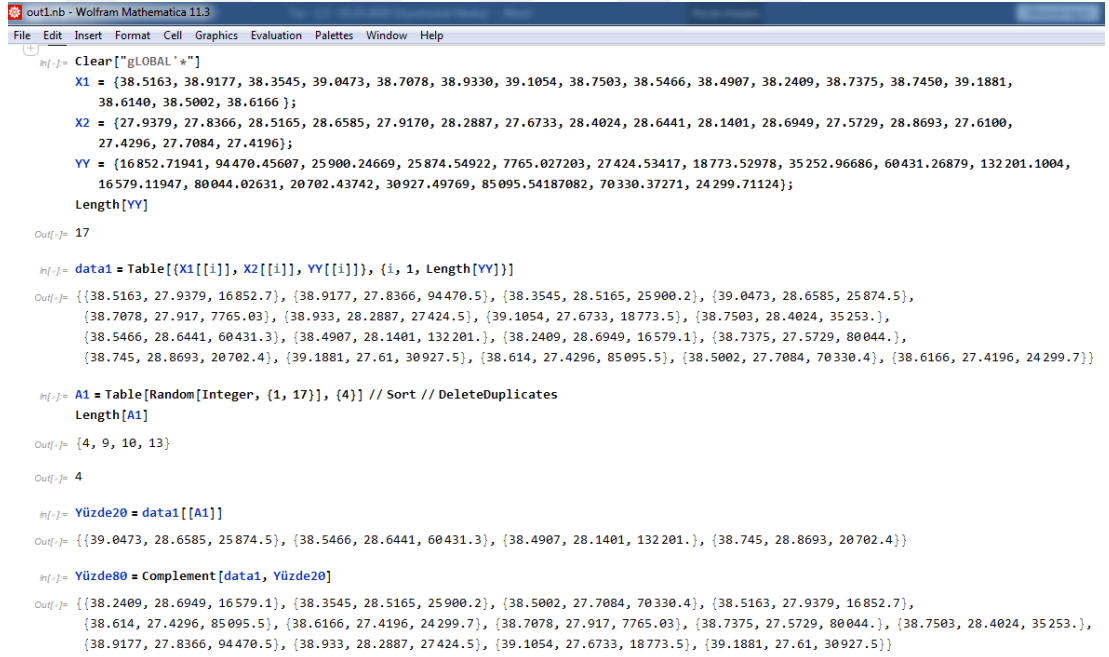
$$SST = \sum_{i=1}^{Length[XX1]} (YY3[i] - ybar)^2 \quad (4.3)$$

R2test değerı ise aşağıdaki denklem 4.4 gibi bulunur.

$$R2test = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4.4)$$

4.1.1 Çıkış1 Toplam Üretilen Elektrik Üretim Miktarı

Çıkış1 biyogaz potansiyelinden üretilen toplam elektrik miktarıdır. Bu değerleri; X1, X2 giriş değişkenleri ve YY adlı çıkış değişkenlerine wolfram mathematica 11 programında elde edilen değerler yazıldı. X1 Giriş değişkenleri Manisa ilçelerinin kuzey paralelleri üzerindeki noktalarıdır. X2 Giriş değişkenleri Manisa ilçelerinin doğu meridyeni üzerindeki noktalarıdır. Çıkış değişkeni YY ise Manisa ilçeleri için hesaplanan biyogazdan üretilen toplam elektrik miktarıdır. Verilerimizin hepsini data1 adlı bir matris içine yerleştiriyoruz. Eğitim için %76,5 ve test için %23,5 olması şeklinde ayırıyoruz. Toplam değişken sayısı Manisa'nın 17 ilçesi olduğu için 17 adetten oluşturmaktadır. 13 ilçenin değerini eğitim için geri kalan 4 ilçenin değerinin test için Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi ayırıyoruz. Yüzde 20 komutu ile rastgele olarak 4 adet değer ayrılmıştır.



```
outLnb - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

In[ ]:= Clear["GLOBAL`*"]
X1 = {38.5163, 38.9177, 38.3545, 39.0473, 38.7078, 38.9330, 39.1054, 38.7503, 38.5466, 38.4907, 38.2409, 38.7375, 38.7450, 39.1881,
38.6140, 38.5002, 38.6166};
X2 = {27.9379, 27.8366, 28.5165, 28.6585, 27.9170, 28.2887, 27.6733, 28.4024, 28.6441, 28.1401, 28.6949, 27.5729, 28.8693, 27.6100,
27.4296, 27.7084, 27.4196};
YY = {16852.71941, 94470.45607, 25900.24669, 25874.54922, 7765.027203, 27424.53417, 18773.52978, 35252.96686, 60431.26879, 132201.1004,
16579.11947, 80044.02631, 20702.43742, 30927.49769, 85095.54187082, 70330.37271, 24299.71124};
Length[YY]

Out[ ]:= 17

In[ ]:= data1 = Table[{X1[[i]], X2[[i]], YY[[i]]}, {i, 1, Length[YY]}]
Out[ ]:= {{38.5163, 27.9379, 16852.7}, {38.9177, 27.8366, 94470.5}, {38.3545, 28.5165, 25900.2}, {39.0473, 28.6585, 25874.5},
{38.7078, 27.917, 7765.03}, {38.933, 28.2887, 27424.5}, {39.1054, 27.6733, 18773.5}, {38.7503, 28.4024, 35253.},
{38.5466, 28.6441, 60431.3}, {38.4907, 28.1401, 132201.}, {38.2409, 28.6949, 16579.1}, {38.7375, 27.5729, 80044.},
{38.745, 28.8693, 20702.4}, {39.1881, 27.61, 30927.5}, {38.614, 27.4296, 85095.5}, {38.5002, 27.7084, 70330.4}, {38.6166, 27.4196, 24299.7}}

In[ ]:= A1 = Table[Random[Integer, {1, 17}], {4}] // Sort // DeleteDuplicates
Length[A1]

Out[ ]:= {4, 9, 10, 13}

Out[ ]:= 4

In[ ]:= Yüzde20 = data1[[A1]]
Out[ ]:= {{39.0473, 28.6585, 25874.5}, {38.5466, 28.6441, 60431.3}, {38.4907, 28.1401, 132201.}, {38.745, 28.8693, 20702.4}}

In[ ]:= Yüzde80 = Complement[data1, Yüzde20]
Out[ ]:= {{38.2409, 28.6949, 16579.1}, {38.3545, 28.5165, 25900.2}, {38.5002, 27.7084, 70330.4}, {38.5163, 27.9379, 16852.7},
{38.614, 27.4296, 85095.5}, {38.6166, 27.4196, 24299.7}, {38.7078, 27.917, 7765.03}, {38.7375, 27.5729, 80044.}, {38.7503, 28.4024, 35253.},
{38.9177, 27.8366, 94470.5}, {38.933, 28.2887, 27424.5}, {39.1054, 27.6733, 18773.5}, {39.1881, 27.61, 30927.5}}
```

Şekil 4.1. Çıkış1 giriş değişkenleri

Çıkış1 için elde edilen matematiksel denklem aşağıdaki Tablo 4.1. için tek tek denenmiştir. Lineer, nonlinear 2.dereceden, nonlinear 3.dereceden, nonlinear 4.dereceden, sinüs fonksiyonları, kosinüs fonksiyonları denenmiştir. En iyi model tabloda olduğu gibi hibrit model denenerek elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Çıkışlı modelleri

Fonksiyonel Yapı	R2eğitim	Adjusted	R2test
1.dereceden lineer	0.681568	0.613332	-6
2.derece nonlinear	0.708217	0.549063	0.663929
3.derece nonlinear	0.72004	0.320097	0.062462
4.derece nonlinear	0.907141	0.2107	-1.63634
1.derece lineer rasyonel	0.681568	0.507878	0.140082
2.derece nonlinear rasyonel	0.708217	0.0079381	-0.526568
3.derece nonlinear rasyonel	0.702036	2.68846	0.0161785
1.derece sinüs nonlinear	0.674859	0.605186	0.193196
1.derece kosinüs nonlinear	0.652177	0.577644	0.0952226
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1	0.708014	0.586353	0.58078
1.derece sinüs kosinüs m=1,2, n=1	0.756363	0.654848	-1.51525
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3, n=1	0.728882	0.615916	-0.080844
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3,4, n=1	0.775928	0.682564	0.427502
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1,2	0.701852	0.577624	-0.378641
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1,2,3	0.720874	0.604571	-0.556059
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1,2,3,4	0.763351	0.664747	0.257531
1.derece sinüs kosinüs m=1,2, n=1,2	0.696017	0.569358	0.208931
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3 n=1,2,3,4	0.731903	0.620196	0.664626
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3 n=1,2,3	0.722511	0.606891	-8.60578
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3,4 n=1,2,3,4	0.775303	0.681679	-7.86778
1.derece sinüs kosinüs rasyonel m=1, n=1	0.911301	0.784587	0.782945
2.derece sinüs kosinüs nonlinear rasyonel	0.447254	1.7228	-1.01245
1.derece logaritmik fonksiyon	0.681218	0.612908	-0.456858
1.derece logaritmik fonksiyon rasyonel	0.706167	0.545894	-0.391788
2.derece logaritmik fonksiyon	0.708289	0.549174	0.25276
Hibrit model	0.951169	0.833975	0.999364

Elde edilen modeller sonucu R2eğitim ve R2test modellerin yaklaşık olarak 0.90 yakın olması lazımdır. Bu yüzden hibrit modelin R2eğitim 0.951169 ve R2test 0.999364 değerlerin seçilmesi uygun bulunmuştur.

Ana denklem;

$$\frac{a[1] + 2a[2]\sin[x1^m] + a[3]\sin[x1^m]^2 + 2a[4]\sin[x2^n] + 2a[5]\sin[x1^m]\sin[x2^n] + a[6]\sin[x2^n]^2}{b[1] + 2b[2]\sin[x1^m] + b[3]\sin[x1^m]^2 + 2b[4]\sin[x2^n] + 2b[5]\sin[x1^m]\sin[x2^n] + b[6]\sin[x2^n]^2}$$

Çıkış1=

$$\begin{aligned} & \frac{-88654.93+234626.1\sin[x1]-162821.2\sin[x1]^2+39428.3\sin[x2]+12758.4\sin[x1]\sin[x2]-43909.2\sin[x2]^2}{-0.052+1.499\sin[x1]-3.034\sin[x1]^2+2.1\sin[x2]+2.885\sin[x1]\sin[x2]-3.769\sin[x2]^2} + \\ & \frac{-88654.93+234626.1\sin[x1]-162821.2\sin[x1]^2+39428.3\sin[x2^2]+12758.4\sin[x1]\sin[x2^2]-43909.2\sin[x2^2]^2}{-0.052+1.499\sin[x1]-3.034\sin[x1]^2+2.1\sin[x2^2]+2.885\sin[x1]\sin[x2^2]-3.769\sin[x2^2]^2} + \\ & \frac{-88654.93+234626.1\sin[x1]-162821.2\sin[x1]^2+39428.3\sin[x2^3]+12758.4\sin[x1]\sin[x2^3]-43909.2\sin[x2^3]^2}{-0.052+1.499\sin[x1]-3.034\sin[x1]^2+2.1\sin[x2^3]+2.885\sin[x1]\sin[x2^3]-3.769\sin[x2^3]^2} \end{aligned}$$

constLA[{"RSquared", "AdjustedRSquared"}]

Bu komut ile R2eğitim (RSquared) için {0.951169,0.833975}değerler böyledir. 0.90'dan büyük olduğu için modelin denklemde kullanılması uygundur.

Test için ayrılan değerler testdata'nın içine 4 adet değişkenler koyulmuştur. Tahmin edilen değerler YY3predicted ile hesaplanmıştır. Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler table adlı fonksiyonda açıkça görülmüştür. %23,5'lik gerçek hesaplanan değerler YY3 içine hesaplanıp yazılmıştır. Gerçek değerinin ortalamasını hesaplarken ybar=Mean[YY3] komutu kullanılmıştır. XX1 adet değerinin içine 4 adet değişken ayrılmıştır. R2test değeri hesaplanmıştır. R2test 0,999364 değeri hesaplanmış ve 0,90 büyük olduğu için tahminimize yaklaşılarak doğru değer bulmamızı sağlamıştır. SSE=Açıklanabilen varyasyon, SST= Toplam varyasyon

$$SSE = \sum_{i=1}^{\text{Length}[XX1]} (YY3[i] - YY3predicted[i])^2 \quad (4.1)$$

SST (Toplam Varyason) bulmak için öncelikle hesaplanan değerlerin ortalaması alınır.

$$ybar = \text{Mean}[YY3] \quad (4.2)$$

$$SST = \sum_{i=1}^{\text{Length}[XX1]} (YY3[i] - ybar)^2 \quad (4.3)$$

R2test değeri ise aşağıdaki denklem 4.4 gibi bulunur.

$$R2test = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4.4)$$

```

out1.nb - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

In[ ]:= testdata = Table[{XX1[[i]], XX2[[i]], YY3[[i]]}, {i, 1, Length[XX1]}]
Out[ ]:= {{39.0473, 28.6585, 25874.5}, {38.5466, 28.6441, 60431.3}, {38.4907, 28.1401, 132201.}, {38.745, 28.8693, 20702.4}}

In[ ]:= YY3predicted = Table[model1A /. x1 -> XX1[[i]] /. x2 -> XX2[[i]], {i, 1, Length[XX2]}]
Out[ ]:= {25581.4, 61001.7, 132213., 39236.4}

In[ ]:= Table[{YY3[[i]], YY3predicted[[i]]}, {i, 1, Length[XX2]}] // TableForm
Out[ ]//TableForm=


|         |         |
|---------|---------|
| 25874.5 | 25581.4 |
| 60431.3 | 61001.7 |
| 132201. | 132213. |
| 20702.4 | 39236.4 |



In[ ]:= SSE =  $\sum_{i=1}^{\text{Length}[XX1]} (YY3[[i]] - YY3predicted[[i]])^2$ 
Out[ ]:= 3.4392 x 108

In[ ]:= ybar = Mean[YY3]
Out[ ]:= 59802.3

In[ ]:= SST =  $\sum_{i=1}^{\text{Length}[XX1]} (YY3[[i]] - ybar)^2$ 
Out[ ]:= 7.92187 x 109

In[ ]:= R2testing = 1 - SSE / SST
Out[ ]:= 0.956586

```

Şekil 4.2. Çıkış1 test değeri

4.1.2 Çıkış2 Büyükbaş Hayvandan Üretilen Elektrik Miktarı

Çıkış2 biyogaz potansiyelinden büyükbaş hayvandan üretilen elektrik miktarıdır. Bu değerleri; X1, X2 giriş değişkenleri ve YY adlı çıkış değişkenlerine wolfram mathematica 11 programında elde edilen değerler yazıldı. X1 Giriş değişkenleri Manisa ilçelerinin kuzey paralelleri üzerindeki noktalarıdır. X2 Giriş değişkenleri Manisa ilçelerinin doğu meridyeni üzerindeki noktalarıdır. Çıkış değişkeni YY ise Manisa ilçeleri için hesaplanan biyogazdan üretilen büyükbaş hayvandan üretilen elektrik miktarıdır. Verilerimizin hepsini data1 adlı bir matris içine yerleştiriyoruz. Eğitim için %82,4 ve test için %17,6 olması şeklinde ayırıyoruz. Toplam değişken sayısı Manisa'nın 17 ilçesi olduğu için 17 adetten oluşturmaktadır. 14 ilçenin değerini eğitim için geri kalan 3 ilçenin değerinin test için Şekil 4.3.'de görüldüğü gibi ayırıyoruz. Yüzde 20 komutu ile rastgele olarak 3 adet değer ayrılmıştır.

```

out2.nb - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

Clear["Global`*"]
X1 = {38.5163, 38.9177, 38.3545, 39.0473, 38.7078, 38.9330, 39.1054, 38.7503, 38.5466, 38.4907, 38.2409,
38.7375, 38.7450, 39.1881, 38.6140, 38.5002, 38.6166};
X2 = {27.9379, 27.8366, 28.5165, 28.6585, 27.9170, 28.2887, 27.6733, 28.4024, 28.6441, 28.1401, 28.6949,
27.5729, 28.8693, 27.6100, 27.4296, 27.7084, 27.4196};
YY = {4443.316277, 10988.03856, 9825.601286, 15583.67421, 2032.261031, 19119.08689,
6860.384131, 3707.77407, 36851.26585, 42113.29873, 10123.22531, 7282.268694, 13548.40687, 8715.273267,
9846.645409, 25786.06551, 13456.21357};
Length[YY]

Out[194]= 17

In[195]:= data1 = Table[{X1[[i]], X2[[i]], YY[[i]]}, {i, 1, Length[YY]}]
Out[195]= {{38.5163, 27.9379, 4443.32}, {38.9177, 27.8366, 10988.}, {38.3545, 28.5165, 9825.6},
{39.0473, 28.6585, 15583.7}, {38.7078, 27.917, 2032.26}, {38.933, 28.2887, 19119.1}, {39.1054, 27.6733, 6860.38},
{38.7503, 28.4024, 3707.77}, {38.5466, 28.6441, 36851.3}, {38.4907, 28.1401, 42113.3},
{38.2409, 28.6949, 10123.2}, {38.7375, 27.5729, 7282.27}, {38.745, 28.8693, 13548.4}, {39.1881, 27.61, 8715.27},
{38.614, 27.4296, 9846.65}, {38.5002, 27.7084, 25786.1}, {38.6166, 27.4196, 13456.2}}

In[196]:= A1 = Table[Random[Integer, {1, 17}], {4}] // Sort // DeleteDuplicates
Length[A1]
Out[196]= {2, 5, 11}

Out[197]= 3

```

Şekil 4.3. Çıkış2 giriş değişkenleri

Çıkış2 için elde edilen matematiksel denklem aşağıdaki Tablo 4.2. için tek tek denenmiştir. Lineer, nonlinear 2.dereceden, nonlinear 3.dereceden, nonlinear 4.dereceden, sinüs fonksiyonları, kosinüs fonksiyonları denenmiştir. Model Tablo 4.2. olduğu gibi nonlinear 2.dereceden rasyonel model denenerek elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Çıkış2 modelleri

Fonksiyonel Yapı	R2eğitim	Adjusted	R2test
1.dereceden lineer	0.663469	0.591355	-0.0898012
2.derece nonlinear	0.678069	0.50247	0.440669
3.derece nonlinear	0.759797	0.41665	0.120514
4.derece nonlinear	0.941664	0.504144	0.642615
1.derece lineer rasyonel	0.679315	0.5504396	-1
2.derece nonlinear rasyonel	0.987657	0.958033	0.916138
3.derece nonlinear rasyonel	0.281474	5.07164	-0.0880944
1.derece sinüs nonlinear	0.659956	0.58709	0.0151289
1.derece kosinüs nonlinear	0.66651	0.595048	0.177789
1.derece sinüs kosinüs rasyonel m=1, n=1	0.000008	-1.42836	-2.37224
1.derece logaritmik fonksiyon	0.663493	0.591384	-3
Hibrit model	0.93666	1.2692	0.314348

Ana denklem;

$$\frac{a[1] + 2x_1a[2] + x_1^2a[3] + 2x_2a[4] + 2x_1x_2a[5] + x_2^2a[6]}{b[1] + 2x_1b[2] + x_1^2b[3] + 2x_2b[4] + 2x_1x_2b[5] + x_2^2b[6]}$$

$$\text{Çıkış2} = \frac{-4184842.8 + 263058.5x_1 - 4121.9x_1^2 - 64312.1x_2 + 1979.03x_1x_2 - 211.56x_2^2}{-494.2 + 30.4x_1 - 0.4x_1^2 - 6.73x_2 + 0.221x_1x_2 - 0.031x_2^2}$$

constLA[{"RSquared", "AdjustedRSquared"}]

Bu komut ile R2eğitim için {0.987656, 0.958033} değerler böyledir. 0.90'dan büyük olduğu için modelin denklemde kullanılması uygundur.

Test için ayrılan değerler testdata'nın içine 3 adet değişkenler koyulmuştur. Tahmin edilen değerler YY3predicted ile hesaplanmıştır. Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler table adlı fonksiyonda açıkça görülmüştür. %17,6'lık gerçek hesaplanan değerler YY3 içine hesaplanıp yazılmıştır. Gerçek değerinin ortalamasını hesaplarken ybar=Mean[YY3] komutu kullanılmıştır. XX1 adet değerinin içine 3 adet değişken ayrılmıştır. R2test değeri hesaplanmıştır. R2test 0,916138 değeri hesaplanmış ve 0,90 büyük olduğu için tahminimize yaklaşılarak doğru değer bulmamızı sağlamıştır. SSE=Açıklanabilen varyasyon, SST= Toplam varyasyon

$$SSE = \sum_{i=1}^{\text{Length}[XX1]} (YY3[i] - YY3predicted[i])^2 \quad (4.1)$$

SST (Toplam Varyason) bulmak için öncelikle hesaplanan değerlerin ortalaması alınır.

$$ybar = \text{Mean}[YY3] \quad (4.2)$$

$$SST = \sum_{i=1}^{\text{Length}[XX1]} (YY3[i] - ybar)^2 \quad (4.3)$$

R2test değeri ise aşağıdaki denklem 4.4 gibi bulunur.

$$R2test = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4.4)$$

```

out2.nb - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

In[220]:= YY3predicted = Table[modelLA /. x1 -> XX1[[i]] /. x2 -> XX2[[i]], {i, 1, Length[XX2]}]
Out[220]= {10158.5, 2073.05, 8278.44}

In[221]:= Table[{YY3[[i]], YY3predicted[[i]]}, {i, 1, Length[XX2]}] // TableForm
Out[221]/TableForm=
      10158.5      10158.5
      2073.05      2073.05
      8278.44      8278.44

In[222]:= SSE = Sum[(YY3[[i]] - YY3predicted[[i]])^2, {i, 1, Length[XX1]}]
Out[222]= 4.09296 x 10^6

In[223]:= ybar = Mean[YY3]
Out[223]= 7714.51

In[224]:= SST = Sum[(YY3[[i]] - ybar)^2, {i, 1, Length[XX1]}]
Out[224]= 4.88059 x 10^7

In[225]:= R2testing = 1 - SSE / SST
Out[225]= 0.916138

```

Şekil 4.4. Çıkış2 test değeri

4.1.3 Çıkış3 Küçükbaş Hayvandan Üretilen Elektrik Miktarı

Çıkış3 biyogaz potansiyelinden küçükbaş hayvandan üretilen elektrik miktarıdır. Bu değerleri; X1, X2 giriş değişkenleri ve YY adlı çıkış değişkenlerine wolfram mathematica 11 programında elde edilen değerler yazıldı. X1 Giriş değişkenleri Manisa ilçelerinin kuzey paralelleri üzerindeki noktalarıdır. X2 Giriş değişkenleri Manisa ilçelerinin doğu meridyeni üzerindeki noktalarıdır. Çıkış değişkeni YY ise Manisa ilçeleri için hesaplanan biyogazdan üretilen küçükbaş hayvandan üretilen elektrik miktarıdır. Verilerimizin hepsini data1 adlı bir matris içine yerleştiriyoruz. Eğitim için %82,4 ve test için %17,6 olması şeklinde ayırıyoruz. Toplam değişken sayısı Manisa'nın 17 ilçesi olduğu için 17 adetten oluşturmaktadır. 14 ilçenin değerini eğitim için geri kalan 3 ilçenin değerinin test için Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi ayırıyoruz. Yüzde 20 komutu ile rastgele olarak 3 adet değer ayrılmıştır.

```

out3.nb - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

In[1]:= Clear["Global`*"]
X1 = {38.5163, 38.9177, 38.3545, 39.0473, 38.7078, 38.9330, 39.1054, 38.7503, 38.5466, 38.4907, 38.2409, 38.7375, 38.7450,
39.1881, 38.6140, 38.5002, 38.6166};
X2 = {27.9379, 27.8366, 28.5165, 28.6585, 27.9170, 28.2887, 27.6733, 28.4024, 28.6441, 28.1401, 28.6949, 27.5729, 28.8693,
27.6100, 27.4296, 27.7084, 27.4196};
YY = {310.8167754, 2167.813336, 1650.414992, 2575.513351, 512.3129908, 1514.156591, 2161.158788, 1222.809453, 3287.637126,
4597.159112, 732.5523644, 1479.518072, 1556.989792, 486.9734033, 691.608008, 518.8513018, 1998.689025};
Length[YY]

Out[1]:= 17

In[2]:= data1 = Table[{X1[[i]], X2[[i]], YY[[i]]}, {i, 1, Length[YY]}]
Out[2]:= {{38.5163, 27.9379, 310.817}, {38.9177, 27.8366, 2167.81}, {38.3545, 28.5165, 1650.41}, {39.0473, 28.6585, 2575.51},
{38.7078, 27.917, 512.313}, {38.933, 28.2887, 1514.16}, {39.1054, 27.6733, 2161.16}, {38.7503, 28.4024, 1222.81},
{38.5466, 28.6441, 3287.64}, {38.4907, 28.1401, 4597.16}, {38.2409, 28.6949, 732.552}, {38.7375, 27.5729, 1479.52},
{38.745, 28.8693, 1556.99}, {39.1881, 27.61, 486.973}, {38.614, 27.4296, 691.608}, {38.5002, 27.7084, 518.851}, {38.6166, 27.4196, 1998.69}}

In[3]:= A1 = Table[Random[Integer, {1, 17}], {4}] // Sort // DeleteDuplicates
Length[A1]
Out[3]:= {6, 7, 9}

Out[4]:= 3

In[5]:= Yüzde20 = data1[[A1]]
Out[5]:= {{38.933, 28.2887, 1514.16}, {39.1054, 27.6733, 2161.16}, {38.5466, 28.6441, 3287.64}}

```

Şekil 4.5. Çıkış3 giriş ve çıkış değişkenleri

Çıkış3 için elde edilen matematiksel denklem aşağıdaki Tablo 4.3. için tek tek denenmiştir. Sonuç olarak hibrit model2 tercih edilmiştir.

Ana denklem;

$$\begin{aligned}
 & a[1] + 2x_1a[2] + x_1^2a[3] + 2x_2a[4] + 2x_1x_2a[5] + x_2^2a[6] \\
 & + 2a[7]\cos[x_2^n] + 2x_1a[8]\cos[x_2^n] + 2x_2a[9]\cos[x_2^n] \\
 & + a[10]\cos[x_2^n]^2 + 2a[11]\sin[x_1^m] + 2x_1a[12]\sin[x_1^m] \\
 & + 2x_2a[13]\sin[x_1^m] + 2a[14]\cos[x_2^n]\sin[x_1^m] + a[15]\sin[x_1^m]^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Çıkış3} = & 2 \times 10^{10} + 1.1 \times 10^6 x_1 - 10679 x_1^2 - 1.4 \times 10^9 x_2 - 1 \times 10^5 x_1 x_2 + \\
 & 2.6 \times 10^7 x_2^2 - 7.3 \times 10^7 \cos[x_2] + 3 \times 10^9 \cos[x_2] + 32440 \cos[x_2] - 9.6 \times \\
 & 10^6 \cos[x_2]^2 - 318037 \sin[x_1] + 5519.41 x_1 \sin[x_1] + 3580 x_2 \sin[x_1] - \\
 & 2406 \cos[x_2] \sin[x_1] - 528 \sin[x_1]^2 - 318037 \sin[x_1]^2 + 5519 x_1 \sin[x_1]^2 + \\
 & 3580 x_2 \sin[x_1]^2 - 2406 \cos[x_2] \sin[x_1^2] - 528 \sin[x_1^2]^2 - 318037 \sin[x_1]^3 + \\
 & 5519 x_1 \sin[x_1]^3 - 2406 \cos[x_2] \sin[x_1^3] - 528 \sin[x_1^3]^2
 \end{aligned}$$

$$\text{constLA}\{\text{"RSquared"}, \text{"AdjustedRSquared"}\}$$

Bu komut ile R2 eğitim için {0.992258, 0.868390} değerler böyledir. 0.90'dan büyük ve yakın olduğu için modelin denklemde kullanılması uygundur.

Test için ayrılan değerler testdata'nın içine 3 adet değişkenler koyulmuştur. Tahmin edilen değerler YY3predicted ile hesaplanmıştır. Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler table adlı fonksiyonda açıkça görülmüştür. %17,6'lık gerçek

hesaplanan değerler YY3 içine hesaplanıp yazılmıştır. Gerçek değerinin ortalamasını hesaplarken $ybar = \text{Mean}[YY3]$ komutu kullanılmıştır. XX1 adet değerinin içine 4 adet değişken ayrılmıştır. R2test değeri hesaplanmıştır. R2test 0,973261 değeri hesaplanmış ve 0,90 büyük olduğu için tahminimize yaklaşılarak doğru değer bulmamızı sağlamıştır.

Tablo 4.3. Çıkış3 modelleri

Fonksiyonel Yapı	R2eğitim	Adjusted	R2test
1.dereceden lineer	0.707528	0.644856	-0.277181
2.derece nonlinear	0.719078	0.565848	-0.466548
3.derece nonlinear	0.770111	0.441699	0.5766
4.derece nonlinear	0.965979	0.710825	0.574171
1.derece lineer rasyonel	0.707528	0.547998	-0.131401
2.derece nonlinear rasyonel	0.719078	0.565848	0.209418
3.derece nonlinear rasyonel	0.72117	2.58003	-1.59292
1.derece sinüs nonlinear	0.710119	0.648001	-0.4216
1.derece kosinüs nonlinear	0.704024	0.640601	-0.497095
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1	0.719773	0.603012	-0.106218
1.derece sinüs kosinüs m=1,2, n=1	0.734963	0.624531	0.000421
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3, n=1	0.740738	0.632712	-1.16734
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3,4, n=1	0.743502	0.636628	-1.23632
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1,2	0.740861	0.632887	-0.838484
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1,2,3	0.696055	0.569412	-0.128525
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1,2,3,4	0.706813	0.584652	-0.245523
1.derece sinüs kosinüs m=1,2, n=1,2	0.754279	0.651895	0.34622
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3 n=1,2,3	0.732411	0.620915	0.210959
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3,4 n=1,2,3,4	0.790263	0.702872	-0.32723
1.derece sinüs kosinüs rasyonel m=1, n=1	0.929894	0.829744	0.86116
2.derece sinüs kosinüs nonlinear rasyonel	0.621732	1.49466	0.479571
1.derece logaritmik fonksiyon	0.707671	0.645029	-0.132345
1.derece logaritmik fonksiyon rasyonel	0.729603	0.582114	0.370798
2.derece logaritmik fonksiyon	0.719007	0.565738	-1.13952
Hibrit model	0.992258	0.868391	0.973261

```

out3.nb * - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

In[214]:= testdata = Table[{XX1[[i]], XX2[[i]], YY3[[i]]}, {i, 1, Length[XX1]}]
Out[214]= {{38.933, 28.2887, 1514.16}, {39.1054, 27.6733, 2161.16}, {38.5466, 28.6441, 3287.64}}

In[215]:= YY3predicted = Table[modelLA /. x1 -> XX1[[i]] /. x2 -> XX2[[i]], {i, 1, Length[XX2]}]
Out[215]= {1477.52, 1957.48, 3303.35}

In[216]:= Table[{YY3[[i]], YY3predicted[[i]]}, {i, 1, Length[XX2]}] // TableForm
Out[216]//TableForm=
  1514.16    1477.52
  2161.16    1957.48
  3287.64    3303.35

In[217]:= SSE = Sum[(YY3[[i]] - YY3predicted[[i]])^2, {i, 1, Length[XX1]}]
Out[217]= 43075.4

In[218]:= ybar = Mean[YY3]
Out[218]= 2320.98

In[219]:= SST = Sum[(YY3[[i]] - ybar)^2, {i, 1, Length[XX1]}]
Out[219]= 1.61093 x 10^6

In[220]:= R2testing = 1 - SSE / SST
Out[220]= 0.973261

```

Şekil 4.6. Çıkış3 test değeri

4.1.4 Çıkış4 Kanatlı Hayvandan Üretilen Elektrik Miktarı

Çıkış4 biyogaz potansiyelinden kanatlı hayvandan üretilen elektrik miktarıdır. Bu değerleri; X1, X2 giriş değişkenleri ve YY adlı çıkış değişkenlerine wolfram mathematica 11 programında elde edilen değerler yazıldı. X1 Giriş değişkenleri Manisa ilçelerinin kuzey paralelleri üzerindeki noktalarıdır. X2 Giriş değişkenleri Manisa ilçelerinin doğu meridyeni üzerindeki noktalarıdır. Çıkış değişkeni YY ise Manisa ilçeleri için hesaplanan biyogazdan üretilen kanatlı hayvandan üretilen elektrik miktarıdır. Verilerimizin hepsini data1 adlı bir matris içine yerleştiriyoruz. Eğitim için %82,4 ve test için %17,6 olması şeklinde ayırıyoruz. Toplam değişken sayımız Manisa'nın 17 ilçesi olduğu için 17 adetten oluşturmaktadır. 14 ilçenin değerini eğitim için geri kalan 3 ilçenin değerinin test için Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi ayırıyoruz. Yüzde 20 komutu ile rastgele 3 adet değer ayrılmıştır.

```

out4.nb - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

In[629]:= Clear["Global`*"]
X1 = {38.5163, 38.9177, 38.3545, 39.0473, 38.7078, 38.9330, 39.1054, 38.7503, 38.5466, 38.4907, 38.2409, 38.7375, 38.7450,
39.1881, 38.6140, 38.5002, 38.6166};
X2 = {27.9379, 27.8366, 28.5165, 28.6585, 27.9170, 28.2887, 27.6733, 28.4024, 28.6441, 28.1401, 28.6949, 27.5729, 28.8693,
27.6100, 27.4296, 27.7084, 27.4196};
YY = {12098.58636, 81314.60417, 14424.23041, 7715.361667, 5220.453181, 6791.290691, 9751.986858, 30322.38334, 20292.36581,
85490.64254, 5723.34179, 71282.23954, 5597.040758, 21725.25102, 74557.288454, 44025.45591, 8844.808646};
Length[YY]

Out[633]= 17

In[634]:= data1 = Table[{X1[[i]], X2[[i]], YY[[i]]}, {i, 1, Length[YY]}]
Out[634]= {{38.5163, 27.9379, 12098.6}, {38.9177, 27.8366, 81314.6}, {38.3545, 28.5165, 14424.2},
{39.0473, 28.6585, 7715.36}, {38.7078, 27.917, 5220.45}, {38.933, 28.2887, 6791.29}, {39.1054, 27.6733, 9751.99},
{38.7503, 28.4024, 30322.4}, {38.5466, 28.6441, 20292.4}, {38.4907, 28.1401, 85490.6},
{38.2409, 28.6949, 5723.34}, {38.7375, 27.5729, 71282.2}, {38.745, 28.8693, 5597.04}, {39.1881, 27.61, 21725.3},
{38.614, 27.4296, 74557.3}, {38.5002, 27.7084, 44025.5}, {38.6166, 27.4196, 8844.81}}

In[635]:= A1 = Table[Random[Integer, {1, 17}], {4}] // Sort // DeleteDuplicates
Length[A1]
Out[635]= {9, 10, 14}

Out[636]= 3

In[637]:= Yüzde20 = data1[[A1]]
Out[637]= {{38.5466, 28.6441, 20292.4}, {38.4907, 28.1401, 85490.6}, {39.1881, 27.61, 21725.3}}

```

Şekil 4.7. Çıkış4 giriş ve çıkış değişkenleri

Çıkış4 için elde edilen matematiksel denklem aşağıdaki Tablo 4.4. için tek tek denenmiştir. Lineer, nonlinear 2.dereceden, nonlinear 3.dereceden, nonlinear 4.dereceden, sinüs fonksiyonları, kosinüs fonksiyonları denenmiştir. En iyi model tabloda olduğu gibi hibrit model 2 denenerek elde edilmiştir.

Ana denklem;

$$\begin{aligned}
& a[1] + 2x_1a[2] + x_1^2a[3] + 2x_2a[4] + 2x_1x_2a[5] + \\
& x_2^2a[6] + 2a[7]\sin[x_1^m] + 2x_1a[8]\sin[x_1^m] + 2x_2a[9]\sin[x_1^m] + \\
& a[10]\sin[x_1^m]^2 + 2a[11]\sin[x_2] + 2x_1a[12]\sin[x_2] + \\
& 2x_2a[13]\sin[x_2] + 2a[14]\sin[x_1^m]\sin[x_2] + a[15]\sin[x_2]^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Çıkış4} = & -9.113 \times 10^{11} + 5.301 \times 10^{10}x_1 - 8.984 \times 10^8x_1^2 - 1.1 \times 10^{10}x_2 + 6.409 \times \\
& 10^8x_1x_2 - 2.283 \times 10^8x_2^2 + 4.627 \times 10^{10}\sin[x_1] - 5.142 \times 10^8x_1\sin[x_1] - 1.0638 \times \\
& 10^9x_2\sin[x_1] + 9.094 \times 10^8\sin[x_1]^2 - 1.098 \times 10^{10}\sin[x_2] + 6.662 \times 10^8x_1\sin[x_2] - \\
& 4.905 \times 10^8x_2\sin[x_2] - 1.104 \times 10^9\sin[x_1]\sin[x_2] - 2.635 \times 10^8\sin[x_2]^2
\end{aligned}$$

$$\text{constLA}[\{\text{"RSquared"}, \text{"AdjustedRSquared"}\}]$$

Bu komut ile R^2 eğitim için {0.983626, 1.069588} değerler böyledir. 0.90'dan büyük olduğu için modelin denklemde kullanılması uygundur.

Tablo 4.4. Çıkış4 modelleri

Fonksiyonel Yapı	R2eğitim	Adjusted	R2test
1.dereceden lineer	0.616712	0.534578	0.551739
2.derece nonlinear	0.652245	0.46256	-11.5341
3.derece nonlinear	0.689029	0.244784	0.290543
4.derece nonlinear	0.859814	-0.191582	0.992212
1.derece lineer rasyonel	0.616712	0.407645	0.198569
2.derece nonlinear rasyonel	0.652245	-0.182368	0.353271
3.derece nonlinear rasyonel	0.637008	3.05696	0.202698
1.derece sinüs nonlinear	0.610154	0.605186	0.193196
1.derece kosinüs nonlinear	0.538195	0.439237	0.441484
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1	0.65024	0.504507	0.0518745
1.derece sinüs kosinüs m=1,2, n=1	0.733946	0.623091	0.439961
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3, n=1	0.68177	0.549175	-128.56
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3,4, n=1	0.711475	0.591256	0.195252
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1,2	0.643917	0.495549	0.0441408
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1,2,3	0.66071	0.519339	0.284749
1.derece sinüs kosinüs m=1, n=1,2,3,4	0.679092	0.54538	0.661372
1.derece sinüs kosinüs m=1,2, n=1,2	0.624776	0.468432	-50.4692
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3 n=1,2,3	0.636551	0.485114	-0.33327
1.derece sinüs kosinüs m=1,2,3,4 n=1,2,3,4	0.643473	0.494919	-0.894755
1.derece sinüs kosinüs rasyonel m=1, n=1	0.883478	0.717017	0.350121
1.derece sinüs kosinüs rasyonel m=1,2, n=1	0.801248	0.517318	0.619919
1.derece logaritmik fonksiyon	0.616167	0.533917	0.107955
1.derece logaritmik fonksiyon rasyonel	0.631485	0.430477	0.237707
2.derece logaritmik fonksiyon	0.652227	0.462533	0.99301
Hibrit model	0.903219	1.41132	0.851392
Hibrit model 2	0.983626	1.06959	0.992959

Test için ayrılan değerler testdata'nın içine 3 adet değişkenler koyulmuştur. Tahmin edilen değerler YY3predicted ile hesaplanmıştır. Tahmin edilen değerler ile gerçek değerler table adlı fonksiyonda açıkça görülmüştür. %17,6'lık gerçek hesaplanan değerler YY3 içine hesaplanıp yazılmıştır. Gerçek değerinin ortalamasını hesaplarken

ybar=Mean[YY3] komutu kullanılmıştır. XX1 adet değerinin içine 3 adet değişken ayrılmıştır. R2test değeri hesaplanmıştır. R2test 0,992959 değeri hesaplanmış ve 0,90 büyük olduğu için tahminimize yaklaşarak doğru değer bulmamızı sağlamıştır.

```

out4.nb * - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

In[656]:= testdata = Table[{XX1[[i]], XX2[[i]], YY3[[i]]}, {i, 1, Length[XX1]}]
Out[656]= {{38.5466, 28.6441, 20292.4}, {38.4907, 28.1401, 85490.6}, {39.1881, 27.61, 21725.3}}

In[657]:= YY3predicted = Table[modelLA /. x1 -> XX1[[i]] /. x2 -> XX2[[i]], {i, 1, Length[XX2]}]
Out[657]= {22966.6, 89130.5, 22763.8}

In[658]:= Table[{YY3[[i]], YY3predicted[[i]]}, {i, 1, Length[XX2]}] // TableForm
Out[658]/TableForm=
      20292.4    22966.6
      85490.6    89130.5
      21725.3    22763.8

In[659]:= SSE = Sum[(YY3[[i]] - YY3predicted[[i]])^2, {i, 1, Length[XX1]}]
Out[659]= 2.14786 x 10^7

In[660]:= ybar = Mean[YY3]
Out[660]= 42502.8

In[661]:= SST = Sum[(YY3[[i]] - ybar)^2, {i, 1, Length[XX1]}]
Out[661]= 2.77296 x 10^9

In[662]:= R2testing = 1 - SSE / SST
Out[662]= 0.992254

```

Şekil 4.8. Çıkış4 test değeri

$$SSE = \sum_{i=1}^{\text{Length}[XX1]} (YY3[i] - YY3\text{predicted}[i])^2 \quad (4.1)$$

SST (Toplam Varyasyon) bulmak için öncelikle hesaplanan değerlerin ortalaması alınır.

$$ybar = \text{Mean}[YY3] \quad (4.2)$$

$$SST = \sum_{i=1}^{\text{Length}[XX1]} (YY3[i] - ybar)^2 \quad (4.3)$$

R2test değeri ise aşağıdaki denklem 4.4 gibi bulunur.

$$R2test = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4.4)$$

4.2. Optimizasyon Senaryoları

Optimizasyon senaryolarını ele alıp, çeşitli problemler için uygun senaryolar ortaya çıkartıp mühendislik açısından çözümler yapılacaktır. Uygulanabilecek temel optimizasyon yaklaşımları kullanılarak problem çözülecektir. Problemleri çözerken Wolfram Mathematica 11.3 programı kullanılmıştır. Gerekli hesaplamalar ve işlemler yapıldıktan sonra sonuçlar elde edilecektir.

4.2.1. Senaryo1 En Yüksek Üretilen Elektrik Miktarı

Manisa ili için en uygun, ideal şartlarda hayvansal atık potansiyeli olan biyogazdan elektrik üretimi için teorik olarak toplam elektrik miktarı en yüksek hangi koordinat üzerinde üretilir, sorusuna cevap aranacaktır.

Bu sorulara cevap aranırken sistemimizin doğru çalışması için belirli kısıtlamalara ihtiyaç vardır. Bu kısıtlamalardan ilki Manisa ilinin dışına çıkılmaması gereklidir. Bunun için ilçe merkezleri haritalar içinde kısıtlamalara tabi tutulmuştur. Aşağıdaki harita Şekil 4.9’da görüldüğü gibi en doğudaki ilçe merkezi, Selendi; en batıdaki ilçe merkez, Manisa Yunusemre; en kuzeydeki ilçe merkezi, Soma ve en güneydeki ilçe merkezi ise Sarıgöl olarak görülmektedir.

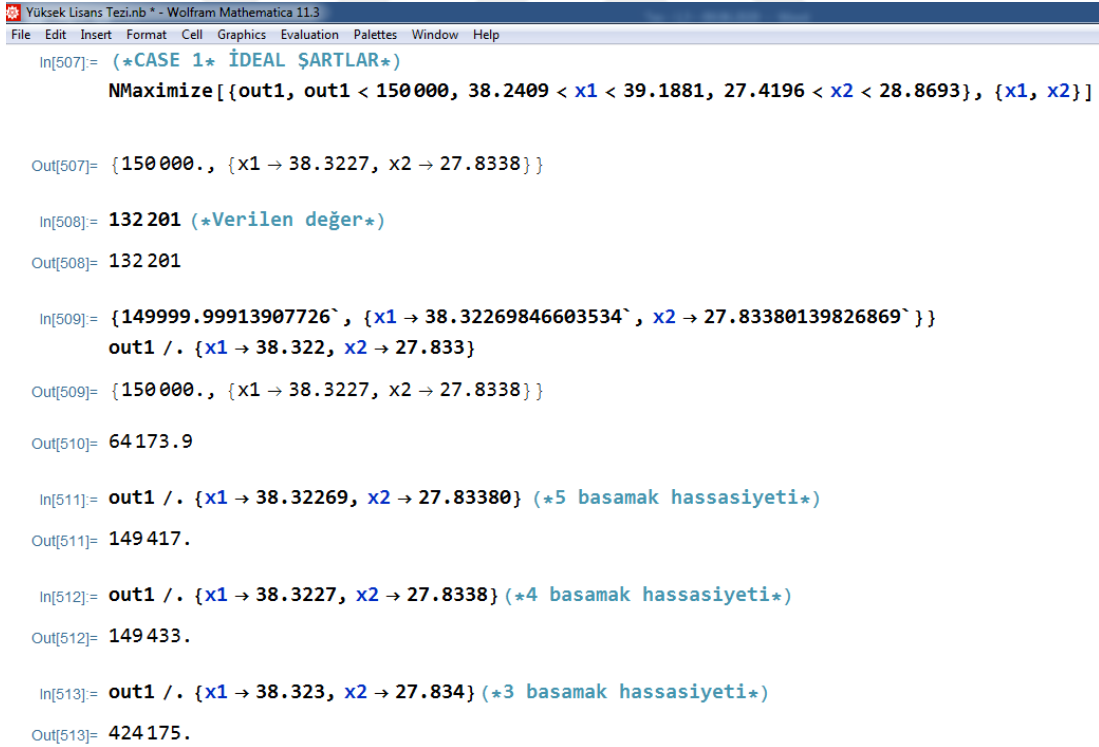


Şekil 4.9. Manisa ilçeleri haritası [60].

Tablo 4.5. Manisa ilçeleri kullanılan değerler koordinatları bilgisi

Manisa İlçeleri	Kuzey Paraleli	Doğu Meridyeni	Konum	Kullanılan Değer
Selendi	38,7450	28,8693	En Doğu	28,8693
Yunusemre	38,6166	27,4196	En Batı	27,4196
Soma	39,1881	27,6100	En Kuzey	39,1881
Sarıgöl	38,2409	28,6949	En Güney	38,2409

Tablo 4.5. görülen Manisa ilçeleri kullanılan değerler koordinatları bilgisinden yararlanılarak kısıtlamalar yapılmıştır. Toplam üretilen elektrik miktarı bir ilçe için en yüksek hesaplanan değer 132.201 MWh olarak ölçülmüştür. Teorik olarak ideal şartlarda hiçbir kısıt verilmeden ulaşılan nokta Manisa ilçesi çevresinde nedir? Bu değere bir ilçe olarak en yüksek biyogazdan üretilebilen elektrik enerjisi için 150.000 MWh değerini aldığımızda en uygun Manisa ili çevresinde hayvansal atıklardan elektrik enerjisini nerede elde edebiliriz, sorusuna cevap aranacaktır.



```
Yüksek Lisans Tezini - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help
In[507]:= (*CASE 1* İDEAL ŞARTLAR*)
NMaximize[{out1, out1 < 150000, 38.2409 < x1 < 39.1881, 27.4196 < x2 < 28.8693}, {x1, x2}]

Out[507]= {150000., {x1 -> 38.3227, x2 -> 27.8338}}

In[508]:= 132201 (*Verilen değer*)
Out[508]= 132201

In[509]:= {149999.99913907726, {x1 -> 38.32269846603534, x2 -> 27.83380139826869}}
out1 /. {x1 -> 38.322, x2 -> 27.833}
Out[509]= {150000., {x1 -> 38.3227, x2 -> 27.8338}}

Out[510]= 64173.9

In[511]:= out1 /. {x1 -> 38.32269, x2 -> 27.83380} (*5 basamak hassasiyeti*)
Out[511]= 149417.

In[512]:= out1 /. {x1 -> 38.3227, x2 -> 27.8338} (*4 basamak hassasiyeti*)
Out[512]= 149433.

In[513]:= out1 /. {x1 -> 38.323, x2 -> 27.834} (*3 basamak hassasiyeti*)
Out[513]= 424175.
```

Şekil 4.10. Senaryo1 için elde edilen değer

Şekil 4.10.'da görüldüğü gibi tam istediğimiz en yüksek elektrik miktarını elde etmek için istenen değeri hesaplamalar sonucu virgülden sonra 14 basamağa kadar hassasiyet

vermektedir. Bunun sonucunda 150.000 MWh elektrik üretmek için $x_1=38.32269846603534$, $x_2=27.83380139826869$ koordinatları elde edilmiştir. Bu koordinatların haritada gösterimi ise Şekil 4.11.'de haritada gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Senaryo1 için haritadaki uygun nokta

Senaryo1 için elde edilen koordinatlar haritaya girilince kırmızı nokta ile gösterilen yer Mathematica programı sonunda çıkan sonuçtur. Toplam elektrik üretiminde ise Tablo 3.10'a bakıldığında genel olarak Manisa'nın güney ilçelerinde elektrik üretim miktarı fazla olduğu için sonuç Turgutlu'nun güneyi çıkmıştır.

Bu sonuçları elde ederken virgül hassasiyeti program için önemlidir. Virgülden sonra basamak analizi incelenip, programın ne kadar hassasiyete kadar çalıştığı incelenmiştir. Hassasiyet sonucunda değişimler Şekil 4.12.'de gösterilmiştir. Virgülden sonra 5 basamak için sonucun yaklaşık olarak 150.000 MWh yakın olduğu gözlenmiştir. Virgülden sonra 4 basamak için de sonuç 149.433 MWh bulunmuş olup hassasiyetini korumuştur. Virgülden sonra 3 basamak için sonucun absürt bir şekilde olup, değerin 424.175 MWh olduğu sonucuna varılmıştır. Gerçek değerin dışına çıkıldığı sonucuna varılıyor. Bu değerden sonra sonucun patladığı görülmüştür. Peki bu sonuca etkili olan değişken X_1 mi yoksa X_2 sorusuna cevap için değişkenleri incelediğimizde, X_1 değişkeninin değerini değiştirdiğimizde sonuca etki etmemiştir.

Sonuç istenilen seviyede olup 149.907 MWh seviyelerini göstermiştir. Bu durumda X2 değişkenini değiştirdiğimizde ise sonucun 415.186 MWh seviyelerine ulaştığını ve sonucun alakasız bir şekilde çıktığı gözlemlenmiştir. Program sonucunda Senaryo1 incelediğimizde x2 değişkenine bağlı parametrelerin çok hassas olduğu sonucuna varılmıştır.



```

Yüksek Lisans Tezi.nb * - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

In[511]:= out1 / . {x1 -> 38.32269, x2 -> 27.83380} (*5 basamak hassasiyeti*)
Out[511]= 149417.

In[512]:= out1 / . {x1 -> 38.3227, x2 -> 27.8338} (*4 basamak hassasiyeti*)
Out[512]= 149433.

In[513]:= out1 / . {x1 -> 38.323, x2 -> 27.834} (*3 basamak hassasiyeti*)
Out[513]= 424175.

out1 / . {x1 -> 38.323, x2 -> 27.8338} (*hangi değişkene etkili x1*)
Out[514]= 149907.

out1 / . {x1 -> 38.3227, x2 -> 27.834} (*hangi değişkene etkili x2*)
Out[515]= 415186.

```

Şekil 4.12. Senaryo1 için hassasiyet

4.2.2. Senaryo2 Kısıtlamalar Girildiğinde Üretilen Elektrik Miktarı

Manisa ili için en uygun kısıtlamalar kullanılarak hayvansal atık potansiyeli olan biyogazdan elektrik üretimi için toplam elektrik miktarı en yüksek hangi koordinat üzerinde üretilir, sorusuna maksimum en fazla üretilen elektrik enerji miktarı 250.000 MWh olarak cevap aranacaktır. Bunun için kısıtlamaları adım adım ekleyerek her adım sonucunda noktalar ortaya çıkacaktır. İlk olarak büyükbaş hayvan kısıtlanacaktır. Daha sonra büyükbaş hayvanla birlikte küçükbaş hayvan kısıtlanacaktır. En son olarak Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan kısıtlaması sonucu istenilen sonuca ulaşılabilecektir.

4.2.2.1. Senaryo2 Büyükbaş Hayvan Kısıtlamalı

Manisa ilçelerinde en yüksek ve en düşük büyükbaş hayvandan elde edilen biyogazdan üretilebilecek elektrik miktarı hesaplanmıştır. Büyükbaştan üretilen en yüksek elektrik miktarı 42.113,29873MWh Salihli ilçesinde, en düşük üretebilecek

elektrik miktarı ise 2.032,261013 MWh ile Gölarmara ilçesindedir. Bu bizim senaryomuz için bir kısıttır. Amacımız en yüksek elektrik miktarını elde ettiğimiz yerde büyükbaş hayvanlardan elde edilen en yüksek elektrik enerjisi ne kadardır? Elde edilen enerji hangi noktadır? Sorularına cevaplar aranacaktır.

```
Yüksek Lisans Tezi.nb - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

(* Case3 büyükbaş hayvan kısıtlamalı*)

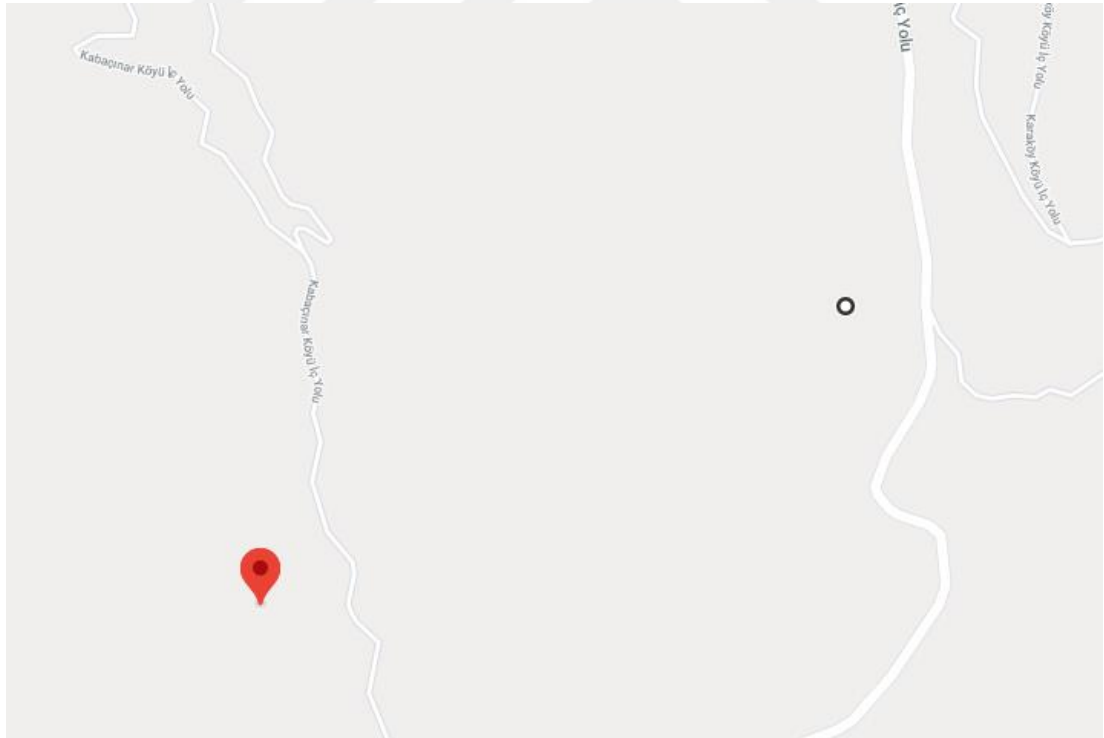
In[798]:= 2032.261013 < bbas hy elek mik < 42113.29873
Out[798]:= 2032.26 < bbas elek hy mik < 42113.3

In[799]:= NMaximize[{out1, out1 < 250000, 2032.261013 < out2 < 42113.29873, 38.2409 < x1 < 39.1881, 27.4196 < x2 < 28.8693},
{x1, x2}, MaxIterations -> 1000]
Out[799]:= {250000., {x1 -> 38.3181, x2 -> 27.8222}}

In[800]:= out2 /. {x1 -> 38.31807710747502, x2 -> 27.82221220958473}
Out[800]:= 8653.12
```

Şekil 4.13. Senaryo2 büyükbaş hayvan kısıtlamalı

Şekil 4.13.'te büyükbaş hayvan kısıtlaması sonucu maksimum toplam elektrik miktarı 250.000 MWh için koordinatlar ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.14. Senaryo2 büyükbaş hayvan kısıtlamalı uygun nokta

Büyükbaş hayvandan elde edilen elektrik miktarı 2.032 MWh ile 42.113 MWh arasında olması istenmektedir. İstenilen değerinin doğruluğunu görmek için yazılan

komut sonucu 8.653,12 MWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Bu da bizim sistemin aralıkları içerisinde doğru bir değerdir. Bu değeri $x_1=38.31807710747502$ ve $x_2=27.82221220958473$ koordinatlarında elde etmekteyiz. Senaryo2 için büyükbaş hayvan kısıtlamalı nokta Şekil 4.14'te verilen kırmızı ile işaretlenen noktadır. Siyah nokta ise teorik olarak ölçülmek istenen en yüksek noktadır. Arasındaki fark görülmektedir. Teorik olarak noktadan uzaklaştığı ve sonucunda daha güney ve daha batıya gittiği gözlenmektedir.

4.2.2.2. Senaryo2 Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvan Kısıtlamalı

Manisa ilçelerinde en yüksek, en düşük büyükbaş ve küçükbaş hayvandan elde edilen biyogazdan üretilebilecek elektrik miktarı hesaplanmıştır. Büyükbaştan üretilen en yüksek elektrik miktarı 42.113,29873 MWh Salihli ilçesinde, en düşük üretilen elektrik miktarı ise 2.032,261013 MWh ile Gölarmara ilçesindedir. Küçükbaştan üretilen en yüksek elektrik miktarı 16.852,71941 MWh Selendi ilçesinde, en düşük üretilen elektrik miktarı ise 310,8167754 MWh ile Gölarmara ilçesindedir. Bu bizim senaryomuz için bir kısıttır. Amacımız en yüksek elektrik miktarını elde ettiğimiz yerde büyükbaş hayvanlardan elde edilen en yüksek elektrik enerjisi ne kadardır? Küçükbaş hayvandan elde edilen elektrik enerjisi ne kadardır? Elde edilen enerji hangi noktadır? Sorularına cevaplar aranacaktır.

```
Yüksek Lisans Tezini - Wolfram Mathematica 11.3
File Edit Insert Format Cell Graphics Evaluation Palettes Window Help

(* Case3 büyükbaş ve küçükbaş hayvan kısıtlamalı*)

In[801]:= 310.8167754 < kbas hy elek mik < 16852.71941
Out[801]:= 310.817 < elek hy kbas mik < 16852.7

In[802]:= NMaximize[{out1, out1 < 250000, 2032.261013 < out2 < 42113.29873, 310.8167754 < out3 < 16852.71941,
38.2409 < x1 < 39.1881, 27.4196 < x2 < 28.8693}, {x1, x2}]
Out[802]:= {250000., {x1 -> 38.4235, x2 -> 28.821}}

In[803]:= out2 /. {x1 -> 38.42352015439146, x2 -> 28.8209582516167}
Out[803]:= 7487.88

In[804]:= out3 /. {x1 -> 38.42352015439146, x2 -> 28.8209582516167}
Out[804]:= 1460.53
```

Şekil 4.15. Senaryo2 büyükbaş ve küçükbaş hayvan kısıtlamalı

Şekil 4.15.'de büyükbaş ve küçükbaş hayvan kısıtlaması sonucu maksimum toplam elektrik miktarı 250.000 MWh için koordinatlar ortaya çıkmıştır. İstenilen değerinin doğruluğunu görmek için yazılan komut sonucu büyükbaştan elde edilen

elektrik enerjisi 7.487,88 MWh olup verilen aralıklardadır. Küçükbaştan elde edilen elektrik enerjisi ise 1.460,53 MWh olup verilen aralıklardadır. Bu da bizim sistemin aralıkları içerisinde doğru bir değerdir.

Senaryo2 için büyükbaş ve küçükbaş hayvan kısıtlamalı nokta Şekil 4.16.'da verilen kırmızı ile işaretlenen noktadır. Siyah nokta ise teorik olarak ölçülmek istenen en yüksek noktadır. Arasındaki fark görülmektedir. Teorik olarak noktadan uzaklaştığı ve sonucunda daha kuzey ve daha doğuya gittiği gözlenmektedir. Şekil 4.14.'e göre ise daha kuzey ve daha doğuya geldiği görülmektedir. Bunun sebebi ise küçükbaştan üretilen elektrik enerjisinin Manisa'nın doğu ilçelerinde yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

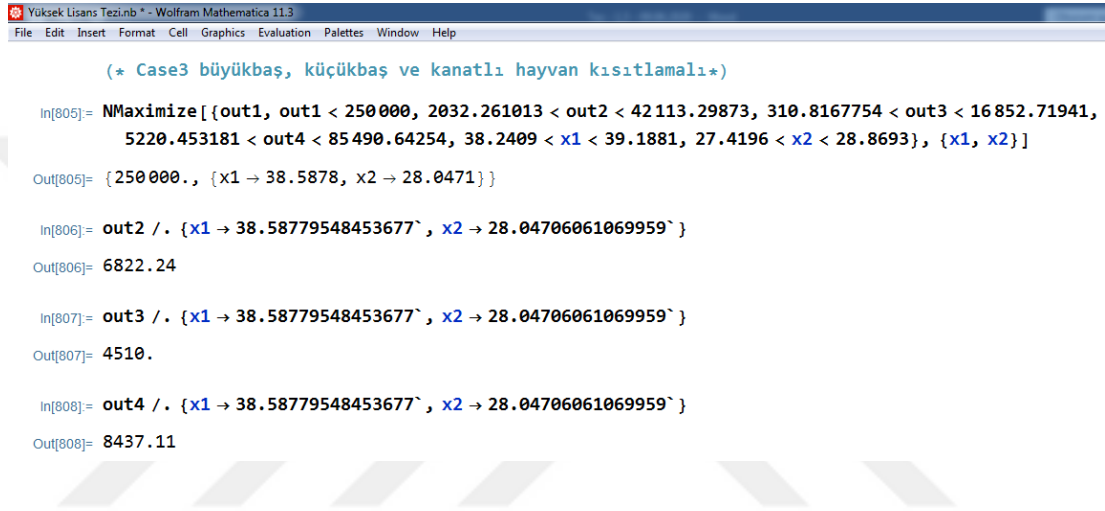


Şekil 4.16. Senaryo2 büyükbaş ve küçükbaş hayvan kısıtlamalı uygun nokta

4.2.2.3. Senaryo2 Büyükbaş, Küçükbaş, Kanatlı Hayvan Kısıtlamalı

Manisa ilçelerinde büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvandan elde edilen biyogazdan üretilebilecek elektrik miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan elektrik miktarının en yüksek ve en düşük değerleri kısıt olarak yazılmıştır. Büyükbaştan üretilen en yüksek elektrik miktarı 42.113,29873 MWh Salihli ilçesinde, en düşük üretebilecek elektrik miktarı ise 2032,261013 MWh ile Gölarmara ilçesindedir. Küçükbaştan üretilebilecek en yüksek elektrik miktarı 16.852,71941 MWh Selendi ilçesinde, en düşük üretebilecek elektrik miktarı ise 310,8167754 MWh ile

Gölmarmara ilçesindedir. Kanatlı hayvandan üretilebilecek en yüksek elektrik miktarı 85.490,64254 MWh ile Salihli ilçesinde, en düşük üretilebilecek elektrik miktarı ise 5.220,453181 MWh ile Gölmarmara ilçesindedir. Bu değerler bizim senaryomuz için bir kısıttır. Amacımız en yüksek elektrik miktarını elde ettiğimiz yerde büyükbaş hayvanlardan elde edilen en yüksek elektrik enerjisi ne kadardır? Küçükbaş hayvandan elde edilen elektrik enerjisi ne kadardır? Elde edilen enerji hangi noktadır? Kanatlı hayvandan elde edilen elektrik enerjisi ne kadardır? Elde edilen enerji hangi noktadır? Elde edilen enerji hangi noktadır? Sorularına cevaplar aranacaktır.



```
(* Case3 büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan kısıtlamalı*)

In[805]:= NMaximize[{out1, out1 < 250000, 2032.261013 < out2 < 42113.29873, 310.8167754 < out3 < 16852.71941,
5220.453181 < out4 < 85490.64254, 38.2409 < x1 < 39.1881, 27.4196 < x2 < 28.8693}, {x1, x2}]

Out[805]= {250000., {x1 -> 38.5878, x2 -> 28.0471}}

In[806]:= out2 /. {x1 -> 38.58779548453677, x2 -> 28.04706061069959}
Out[806]= 6822.24

In[807]:= out3 /. {x1 -> 38.58779548453677, x2 -> 28.04706061069959}
Out[807]= 4510.

In[808]:= out4 /. {x1 -> 38.58779548453677, x2 -> 28.04706061069959}
Out[808]= 8437.11
```

Şekil 4.17. Senaryo2 büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan kısıtlamalı

Şekil 4.17.'de büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan kısıtlaması sonucu maksimum toplam elektrik miktarı 250.000 MWh için koordinatlar ortaya çıkmıştır. İstenilen değerinin doğruluğunu görmek için yazılan komut sonucu büyükbaştan elde edilen elektrik enerjisi 6.822,24 MWh olup verilen aralıklardadır. Küçükbaş hayvandan elde edilen elektrik enerjisi 4.510 MWh olup verilen aralıklardadır. Kanatlı hayvandan elde edilen elektrik enerjisi ise 8.437,11 MWh olup verilen aralıklardadır. Bu da bizim sistemin aralıkları içerisinde doğru bir değerdir.

Senaryo2 için büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan kısıtlamalı en uygun nokta Şekil 4.18.'de verilen kırmızı ile işaretlenen noktadır. Siyah nokta ise teorik olarak ölçülmek istenen en yüksek noktadır. Arasındaki fark görülmektedir. Teorik olarak noktadan uzaklaştığı ve sonucunda daha kuzey ve daha doğuya gittiği gözlenmektedir. Kanatlı hayvanlardan üretilen elektrik enerjisi eklenince şekilde

görüldüğü gibi Manisa'nın özellikle batı ilçelerinde ve güney ilçelerinde potansiyel fazla olduğu için Şekil 4.16.'a ya göre daha batıya kaydığı görülmüştür.



Şekil 4.18. Senaryo2 büyükbaş, küçükbaş, kanatlı hayvan kısıtlamalı nokta

Ahmetli çevresinde Salihli'ye yakın yerden elde edilen biyogazdan üretilen elektrik enerjisi en yüksek elektrik enerjisi elde edilerek Wolfram Mathematica programı ile hesaplanması sonucunda kırmızı nokta elde edilmiştir.

4.2.3. Senaryo3

Manisa ili için en uygun kısıtlamalar kullanılarak hayvansal atık potansiyeli olan biyogazdan elektrik üretimi için toplam elektrik miktarı ne kadar üretilir sorusuna cevaplar aranacaktır. Senaryomuzu gerçekçiliğe yakınlaştırmak için kısıtlanan noktaları aşağıda görüldüğü arttırmaktayız. Daha gerçekçi bir senaryo için bu kısıtlanan noktalardan istenildiği kadar eklenebilir. Bunun için kısıtlamalar:

$$1) \text{out1} < 250.00 \text{ MWh}$$

$$2) 38,2409 < X1 < 39,1881$$

- 3) $27,4196 < X2 < 28,8338$
- 4) $2,032 \text{ MWh} < \text{out2} < 42.113 \text{ MWh}$
- 5) $310 \text{ MWh} < \text{out3} < 16.852 \text{ MWh}$
- 6) $5.220 \text{ MWh} < \text{out4} < 85.490 \text{ MWh}$
- 7) $\text{out1} = \text{out2} + \text{out3} + \text{out4}$

```

(* Senaryo 3 *)

NMaximize[{out1, out1 == out2 + out3 + out4, out1 < 150000, 2032.261013 < out2 < 42113.29873,
  310.8167754 < out3 < 16852.71941, 5220.453181 < out4 < 85490.64254, 38.2409 < x1 < 39.1881,
  27.4196 < x2 < 28.8693}, {x1, x2}]

Out[ ] = {61471., {x1 -> 38.5089, x2 -> 28.0766}}

out2 /. {x1 -> 38.508892732844636, x2 -> 28.07656710668166}

Out[ ] = 4611.87

In[ ] = out3 /. {x1 -> 38.508892732844636, x2 -> 28.07656710668166}

Out[ ] = 3560.2

In[ ] = out4 /. {x1 -> 38.508892732844636, x2 -> 28.07656710668166}

Out[ ] = 53299.

In[ ] = NMaximize[{out1, out1 == out2 + out3 + out4, out1 < 250000, 2032.261013 < out2 < 42113.29873,
  310.8167754 < out3 < 16852.71941, 5220.453181 < out4 < 85490.64254, 38.2409 < x1 < 39.1881,
  27.4196 < x2 < 28.8693}, {x1, x2}]

Out[ ] = {61471., {x1 -> 38.5089, x2 -> 28.0766}}

```

Şekil 4.19. Senaryo3

Senaryo3 için sonuçlara göre toplam üretilen elektrik miktarı 61.471 MWh, büyükbaş hayvandan üretilen toplam elektrik miktarı 4.611,87 MWh, küçükbaş hayvandan üretilen toplam elektrik miktarı 3.560,2 MWh ve kanatlı hayvandan üretilen elektrik miktarı ise 53.299 MWh olarak bulunmuştur. Biyogazdan üretilen elektrik enerjisi en yüksek elektrik enerjisi elde edilerek Wolfram Mathematica programı ile hesaplanması sonucunda haritada verilen kırmızı nokta ile elde edilmiştir.



Şekil 4.20. Senaryo3 sonuç görüntüsü

Senaryo3 için gösterilen nokta Salihli ilçesinin yakınındadır. Teorik olarak ulaşılan noktadan şekilde görüldüğü gibi uzaklaşmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Karbon salınımını azaltıcı yenilebilir enerji kaynaklarına yönelim gün geçtikçe önem taşımaktadır. Bu nedenle biyogaz enerjisi avantajlı bir enerji olup, neredeyse çok az dezavantajı bulunan yenilebilir bir enerji kaynağıdır. Biyogazdan yararlanmamız hem tarımsal hem de hayvansal atık ve artıkların fazla bulunduğu ülkemiz açısından önemlidir. Ayrıca Kyoto Protokolünde imzası bulunan Türkiye'nin enerji üretiminde, teknolojik açıdan gelişerek, vasıflı eleman ihtiyacını ve mali problemlerini çözerek biyogaz üretimini yaygınlaştırması gerekmektedir. Biyogaz içerisinde asıl enerji kaynağı olan metanın oranının artırılarak zenginleştirilmesi gerekmektedir. Zenginleşen metanın ısı değeri artarak çıktı olarak biyogaz verimini artırmaktadır. Biyogaz enerjisinin zenginleşmesi nakledebilir hale gelmesi, taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilmesi, doğalgaz ile belli oranda karıştırılarak tasarruf edilmelidir. Isı ve elektrik üretiminde yeterli bir biçimde yararlanabilmesi için basınç altında depolama gücü oluşturan ve nakil sisteminde korozyona neden olan hidrojen sülfür gibi maddelerin sistemden uzaklaştırılması lazımdır. Biyogaz desülfürizasyon ünitesinden geçilip arıtıldıktan sonra, piyasada bulunan LPG ile çalışan cihazların, küçük bir değişimle biyogaz çalışır hale getirilebilir. Sıcak su uygulamalarında, fırında ve ocakta pişirme gibi işlerde, ısınma gibi amaçlarda kullanılabilir. Kojenerasyon sistemiyle elektrik enerjisi üretilir. Ayrıca ülkemizin tam anlamıyla dışarı bağımlı olduğumuz motorlu taşıtlarda yakıt ihtiyacını biyogazdan sağlayarak dışa bağımlılığı azaltabiliriz. Kötü kokulu atık ve artıklardan kurtarılacak organik gübre elde edebilir. Bu gübrelerinde toprağın verimini artırılmasına yardımcı olmaktadır. Ülkemiz hayvansal, bitkisel, endüstriyel ve kentsel atık potansiyeline sahip iken potansiyelimizi yeterince değerlendirdiğimiz söylenemez. Uzun yıllar üretilen hayvan gübreleri tezekk olarak yakılmaktadır. Sonuç olarak toprağın vazgeçilmezi olan organik madde yok olmaktadır. Enerji tasarrufu sağlamak ve enerji üretmek için biyogaz tesisleri yaygınlaştırılmalı ve teşvik edilmelidir. Biyogaz üretimi ve elektrik elde edilmesi için özellikle büyük şehirlerde oluşan çöpler için biyogaz tesisi kurulmalı ve devletinde destek vermesi gerekmektedir.

Türkiye ihtiyacının büyük bir bölümünün ithalat ile karşıladığı petrolün yerine alternatif enerji kaynakları bulması gerekmektedir. Potansiyel açıdan oldukça fazla olan biyogaza yönelim yerinde ve doğru bir karar olacaktır. Kendi yerli kaynaklar

retmesi açısından biyokütleden yararlanılması olumlu bir sonuç doğuracaktır. Klasik biyokütle enerji üretiminin giderek azaltılması yerine ise modern biyokütle enerji üretimine daha fazla önem verilmesi gereklidir. Bu alanda yapılacak destekler aynı zamanda Türk çiftçisinin endüstriyel yönden gelişmesine, çeşitliliğin artmasına ve ülke ekonomisinin güçlenmesine katkı sağlayacaktır. Enerji sektöründe dışa bağımlılık azalacaktır. Değersiz görünen organik atıkların ve artıkların biyogaz üretim tesislerinde işlenerek yeni endüstri ürünü haline getirilmesi olumlu katkı sağlayacaktır.

Manisa ili hayvansal potansiyel açısından çok sayıda hayvan bulunmaktadır. Manisa’da biyogaz açısından santralleri artırılarak ülke ekonomisine, tarımına katkı verilmelidir. Özellikle hayvan sayısı fazla olan ilçelerde biyogaz tesisi kurulumu yaygınlaştırılmalıdır. Bölge halkımıza tarım açısından destek olunup bilinçlendirilmelidir.

Manisa ili çevresi için gerekli hesaplamalar yapıldığında biyogazdan elektrik üretme potansiyeli oldukça yüksek şehirler arasında yer almaktadır. Türkiye’de kanatlı hayvan sayısı bakımından birinci sırada olan Manisa için önemli bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmelidir. İncelemeler sonucu, Tarım Bakanlığına bağlı kurum ve kuruluşların herhangi birinin, farklı yerler göstermesi sonucunda daha detaylı hesaplamalar yapılarak izin verilen yerlerde santrallerin kurulması ileride gerçekleştirilebilir. Farklı senaryolar için farklı çözümler sunulabilir. Ayrıca verilen yerlerin gerçek hayatta dağın tepesi, okulun üzeri veya merkezi yerleşim yerleri gibi yerler çıkması halinde bu kısıtlamalar göz önüne alınarak kurulacak santraller için dikkat edilmelidir. Sistem hem tarımsal hem istatiksel hem de elektriksel anlamda bazı kısıtlamalar verilirse sistemin sonuçları, her zaman daha iyi bir sonuç için modifiye edilebilir. Teknik olarak verilen bazı kısıtlamalar sonucunda daha farklı sonuçlar elde edilebilir.

Modeller mühendislik açısından istenilen fiziksel sınırlarda kalması o fonksiyonu model olarak kullanmamızı sağlamaktadır. Modeller için öncelikle matematik fonksiyonları kullanılmış, matematik fonksiyonların yeterli kalmadığı noktalarda ise hibrit modeller geliştirilmiştir. Kullanılan fonksiyonlar tablolar aracılığıyla tezde sunulmuştur. Modellerde kullanılan fonksiyonlar açık bir şekilde denklemleri verilmiştir. Modellerin ayrıca sadece kısıtlamada kalması incelenmeyip modellerin doğru olup olmadığı adım adım test ve eğitim değerleri gösterilmiştir.

Modeli programa soktuğumuzda sonucun ve tahmin edilen değerin ne kadar yakın olduğu gözlemlenmiştir. Programın ve sonucumuzun doğruluğunu kanıtlamıştır.

Bu çalışma sonucunda, Manisa ilçeleri çevresinde bir biyogaz santrali kurulması sonucunda elde edebilecek hayvansal atık potansiyelinden elektrik enerjisi teorik olarak hesaplanmıştır. Teorik veriler Mathematica programı sayesinde istatistiksel anlamda kısıtlamalar kullanılarak analiz yapılmıştır. Her analiz sonucunda senaryolar değerlendirilmiştir. Değerlendirilen senaryolar için kısıtlamalar farklı bir durum çıkması sonucunu ortaya çıkarmıştır. Sonuçlar her bir adımda değerlendirilerek teorik anlamda sonuçlar gerçeğe yaklaştırılmıştır.

Sonraki aşamalarda yeni problemlere karşı problem tanımı yapıp, bu senaryolar daha da geliştirilerek farklı sonuçlar ortaya çıkarılabilir. Ayrıca bazı kurum ve kuruluşların istekleri doğrultusunda kurulacak santral için modeller üretilip, verim açısından en çok nerede elektrik üretebiliriz, sorularına cevap alınabilir. Sadece modeller Manisa ile sınırlanmayıp, istenilen her nokta için çözümler geliştirilebilir. Farklı alanlarda model üretmek için verilerin incelenip değerlendirilmesi gerekmektedir. Farklı alanlarda da santral çalışması yapıp modeller üretilir. Verim açısından karlılık durumu incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Chen, G.Q., Wu, X. F. Energy overview for globalized world economy: Source, supply chain and sink. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, 69, 735-749.
2. Klass, D.L. Biomass for Renewable Energy and Fuels. *Encyclopedia of Energy*. 2004, 193-212.
3. Anonim 2019a, <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle> (19 Aralık 2019).
4. Koçar, G., Eryaşar, A., Ersöz, Ö., Arıcı, Ş., Durmuş, A. *Biyogaz Teknolojileri*. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 2010, 281 s.
5. Matsumura, Y., Inoue, T., Komoto, K., Hirata, S., Hada, S., Fukuda, K., Minowa, T. and Yamamoto, H. The scale of biomass production in Japan. *Biomass and Bioenergy*. 2005, 29, 221-330.
6. Anonim 2019b, <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx> (19 Aralık 2019).
7. Ellabban, O., Abu-Rub, H., Blaabjerg, F. Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014, 39, 748-764.
8. Mao, C., Feng, Y., Wang, X., Ren, G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 2015, 45, 540-555.
9. Weinrich, S., Nelles, M. Critical comparison of different model structures for the applied simulation of the anaerobic digestion of agricultural energy crops. *Bioresource Technology*. 2015, 178, 306-312.
10. Koch, K., Drewes, E.J. Alternative approach to estimate the hydrolysis rate constant of particulate material from batch data. *Applied Energy*. 2014, 120, 11-15.
11. Bekaris, G., Triolo, J.M., Peltre, C., Pedersen, L., Jensen, L.S., Bruun, S. Rapid estimation of the biochemical methane potential of plant biomasses using Fourier transform mid-infrared photoacoustic spectroscopy. *Bioresource Technology*. 2015, 197, 475-481.
12. Deniz, E., Yeşilören, G., Özdemir, N., İşçi, A. Türkiye'de Gıda Endüstrisi Kaynaklı Biyokütle Ve Biyoyakıt Potansiyeli. *GIDA*. 2015, 40(1), 47-54.
13. Barik, A.K., Das, D.C. Expeditious frequency control of solar photovoltaic / biogas / biodiesel generator based isolated renewable microgrid using grasshopper optimisation algorithm. *IET Renewable Power Generation*. 2018, 12(14), 1659-1667.
14. Çelikkaya, H. *Biyogaz*, Fırat Kalkınma Ajansı, 25 Ocak, 2016, 39 s.
15. Şenol, H., Elibol, E.A., Açikel, Ü., Şenol, M. Biyogaz üretimi için Ankara'nın başlıca organik atık kaynakları. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*. 2017, 40(1), 47-54.
16. Öçal, F. *Biyogaz Enerjisi Üretimi ve Eskişehir İli İçin Uygulama*, Eskişehir Osmangaz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 2013, 77 s. (Yüksek Lisans Tezi).
17. Bond, T., Templeton, R.M. History and future of domestic biogas plants in the developing world. *Energy for Sustainable Development*. 2011, 15, 347-354.
18. Chen, Y., Yang, G., Sweeney, S., Feng, Y., Household biogas use in rural China: a study of opportunities and constraints. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010, 14, 545-549.
19. Scarlat, N., Dallemand, J.F., Fahl, F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*. 2018, 129, 457-472

20. Buğutekin, A. Atıklardan Biyogaz Üretiminin İncelenmesi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitim Anabilim Dalı, İstanbul, 2007, 158 s. (Doktora Tezi).
21. Gülen, J., Çeşmeli, Ç. Biyogaz Hakkında Genel Bilgi ve Yan Ürünlerin Kullanım Alanları. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2012, 5(1), 65-84.
22. Pramanik, S. K., Suja, F. B., Zain, S. M., Pramanik, B. K. The anaerobic digestion process of biogas production from food waste: prospects and constraints. Bioresource Technology Reports, 2019, 8, 1-15.
23. Quymm, M. A., Haider, J., Quadder, K., Valentina, V., Khan, A., Yasin, M., Aslam, M., Guido, G. D., Pellegrini, L. A., Lee, M., Biogas to liquefied biomethane: assetment of 3p's – produciton, processing and prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2019, DOI:10.1016/j.rser.2019.109561.
24. Zaher, U.E. Modelling and Monitoring the Anaerobic Digestion Process in View of Optimisation and Smooth Operation of WWTP's, Gent Üniversitesi, Biyomühendislik Bilimler Fakültesi, Biyomühendislik Anabilim Dalı, Gent, 2005, 388 s. (Doktora Tezi).
25. Durmuş, A. Protitip Bir Biyogaz Reaktörünün Otomasyonu, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir, 2009, 229 s. (Yüksek Lisans Tezi).
26. Zabeed, M. H., Akter, S., Yun, J., Zhang, G., Zhang, Y., Qi, X., Biogas from microalgae: Tecnologies, challenges and opportunities, Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020, DOI: 10.1016/j.rser.2019.109503.
27. Akbulut, A. Biyogazın Isı ve Elektrik Üretiminde Kullanılması ve İrdelenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya, 2011, 117 s. (Yüksek Lisans Tezi).
28. Saratale, R.G., Kumar, G., Banu, R., Xia, A., Periyasamy, S., Saratale, G.D. A Critical review on anaerobic digestion of microalgae and macroalga and codigestion of biomass for enhanced methane generation, Bioresource Technology. 2018, DOI: 10.1016/j.bitech.2018.03.030.
29. Zhang, D., Zhu, W., Tang, C., Suo, Y., Gao, L., Yuan, X., Wang, X., Cui, Z., Bioreactor performance and methanogenic population dynamics in a low-temperature (5–18 °C) anaerobic fixed-bed reactor. Bioresource Technology, 2012, 104, 136-143.
30. Debowski, M., Korzeniewska, E., Filipkowska, Z., Zielinski, M., Kwiatkowski, R. Possibility of hydrogen production during cheese whey fermentation process by different strains of psychrophilic bacteria. International Journal of Hydrogen Energy. 2014, 39, 1972-1978.
31. Ta, D.T., Lin, C. Y., Ta, T. M. N., Chu, C. Y. Biohythane production via single-stage anaerobic fermentation using entrapped hydrogenic and methanogenic bacteria, Bioresource Technology. 2019, DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122702.
32. Lay, J. J., Li, Y. Y., Noike, T. Influences of ph and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion. Water Research. 1997, 31(6), 1518-1524.
33. Wang, D., Xin, Y., Shi, H., Ai, P., Yu, L., Li, X., Chen, S. Closing ammonia loop in efficient biogas production: Recycling ammonia pretreatment of wheat strew. Biosystems Engineering. 2019, 180, 182-190.
34. Tabak, A. Karabük Şartlarında Fv Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi ve Biyogaz Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Potansiyel Araştırması Ve Sistemin Optimazasyonu. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, 2018, 138 s. (Doktora Tezi).

35. Mungwe, J. N., Colombo, E., Adani, F., Schievano, A. The fixed dome digester: an appropriate design for the context of sub-sahara Africa. *Biomass and Bioenergy*. 2016, 95, 33-44.
36. Toprakçioğlu, G. Siirt ve Batman İllerinin Biyogazdan Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyellerin Belirlenmesi. Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Siirt, 2016, 78 s. (Yüksek Lisans Tezi).
37. Akkuş, Ferhat. Biyogaz Enerjisi ve Gaz Motorlu Kojenerasyon Tesisi Tasarımı. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Aksaray, 2018, 151 s. (Yüksek Lisans Tezi).
38. Anonim 2019c, <https://www.enerjiatlası.com/biyogaz> (13 Ocak 2020).
39. Anonim 2019d, <https://bepa.enerji.gov.tr> (13 Ocak 2020).
40. Anonim 2019e, <http://dunya.arztalep.com/tr-TR/manisa/manisa-haritasi.aspx>(31 Ocak 2020).
41. Yetiş, A. D., Gazigil, L., Yetiş, R., Çelikezen, B., Hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli: Bitlis örneği. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 2019, 7(1), 74-78.
42. Ergür, S. H., Okumuş, F. Cost and potential analysis of biogas in Eskisehir. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 2010, 15(2), 155-159.
43. Altıkat, S., Çelik, A. Iğdır ilinin hayvansal atık kaynaklı biyogaz potansiyeli. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2012, 2(1), 61-66.
44. Nergiz, E. Sabit Miknatıslı Senkron Generatörlerin Modellenmesi ve Optimizasyonu, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2018, 171 s. (Yüksek Lisans Tezi).
45. Turhan, F. 1100 Serisi Alüminyum Malzemelerde Tıg Kaynağı İle Oluşan Kaynak Dikiş Geometrisinin Optimizasyonu. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2017, 116 s. (Yüksek Lisans Tezi).
46. Ferretti, J.A., Weiss, G.H. One dimensional nuclear overhauser effects and peak intensity measurements. *Methods in Enzymology*. 1989, 176, 3-11.
47. Spallino, R., Rizzo, S. Multi objective discrete optimization of laminated structures. *Mechanics Research Communications*. 2002, 29(1), 17-25.
48. Aydın, L. Design of Dimensionally-Stable Laminated Composites Subjected To Hygro-Thermo-Mechanical Loading By Stochastic Optimization Methods. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekanik Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 2011, 171 s. (Doktora Tezi).
49. Kumar, J.S., Raja, S.C., Nesemalar, J.J.D., Venkatesh, P. Optimizing renewable based generations in ac/dc microgrid system using hybrid nelder-mead – cuckoo search algorithm. *Energy*. 2018, 158, 204-215.
50. Nesemalar, J.J.D., Vankatesh, P., Raja, S.C. Managing multi-line power congestion by using hybrid nelder-mead-fuzzy adaptive particle swarm optimization(hnm-fapso). *Applied Soft Computing*. 2016, 3,222-234.
51. Esonye, C., Onukwuli, O.D., Ofoefule, A.U., Ogah, O., E. Multi-input multi-output (mİmo) ann and nelder-mead's simplex based modeling of engine performance and combustion emission characteristics of biodiesel-diesel blend in CI diesel engine. *Applied Thermal Engineering*. 2019, 151, 100-114.
52. Barati, R. Parameter estimation of nonlinear muskingum models using nelder-mead simplex algorithm. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2011, 16(11), 946-954.

53. Ogedenbege, E.O.B., Aderaju, P.A., Nkwaze, D.C., Aruwajoye, J.B. Optimization of energy performance with renewable energy project sizing using multiple objective functions. *Energy Reports*. 2019, 5, 898-908.
54. Polatloğlu, İ., Aydın, L., Nevruz, B.Ç., Özer, S. A novel approach for the optimal design of a biosensor. *Analytical Letters*. 2020, 53(9), 1428-1445.
55. Pai, P.F., Hong, W.C. Support vector machines with simulated annealing algorithms in electricity load forecasting. *Energy Conversion and Management*. 2005, 46(17), 2269-2688.
56. Mousavi, S.M., Mostafavi, E.S., Jiao, P. Next generation prediction model for daily solar radiation on horizontal surface using a hybrid neural network and simulated annealing method. *Energy Conversion and Management*. 2017, 153, 671-682.
57. Zou, D. Li S. Wang, G.G., Li, Z. Ouyang, H. An improved differential evolution algorithm for economic load dispatch problems with or without valve-point effects. *Applied Energy*. 2019, 181, 375-390.
58. Aguitoni, M.C., Pavao, L.V., Ravagnani, M.A.S. Heat exchanger network synthesis combining simulated annealing and differential evolution. *Energy*. 2019, 181, 654-664.
59. Konstantinov S.V., Diveev A.I., Balandina G.I., Baryshnikov A.A. Comparative research of random search algorithms and evolutionary algorithms for the optimal control problem of the mobile robot. *Procedia Computer Science*. 2019, 150, 462-470.
60. Anonim 2020f, <http://manisa.kutuphane.gov.tr/TR-84524/ilimiz-manisa.html> (13 Nisan 2020)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali Bahadır CEYLAN

Doğum Yeri ve Yılı : Manisa, 1992

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ali2745@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Manisa Saruhanlı Anadolu Lisesi, 2010

Lisans : Sakarya Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü, 2014

Mesleki Deneyim

Luna Elektrik Elektronik Arge Merkezi, Elektrik-Elektronik Mühendisi 2017-2018

Mahmudiye Tarım İşletmesi Müdürlüğü, Memur, 2018-2019

Manisa Özgür Kablo, Elektrik-Elektronik Mühendisi 2019-2020