

TERMAL, KİMYASAL VE TERMOKİMYASAL  
ÖNİŞLEMLERİN TAVUK GÜBRESİNDEN  
BİYOGAZ ÜRETİM VERİMİNE ETKİLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI

136247

İLKER ARDIÇ

Mersin Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Fadime TANER

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

136247

MERSİN  
MAYIS-2003

Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Fadime TANER



Jüri Üyesi

Prof. Dr. H. İbrahim EKİZ



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ömer ÇOLAK



Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun 02.../07.../2003... tarih ve 2003.../219... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Mahir TURHAN



Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

## ÖZ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biyokütle enerjisi, tüm dünyada yaygınlaşmakta ve anaerobik işlemlerle, organik maddece zengin atıksular ve katı atıklar metan üretiminde kullanılmaktadır. Ancak biyogaz ve metan üretiminde, atıklardaki katı maddelerin biyolojik parçalanabilirliği etkili olmakta, son yıllarda çalışmalar hammaddenin çeşitli önışlemlerle biyolojik parçalanabilirliğinin artırılması yönünde olmaktadır.

Çalışmada, taze tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğüne ve tavuk gübresinin biyogaz ve metan üretim verimlerine, termal, kimyasal ve termokimyasal önışlemlerin etkileri araştırılmıştır. Önışlemler, orijinal tavuk gübresinin kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, katı maddenin % 10, % 15 ve % 20'si kadar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaOH eklenerek ve kimyasal madde eklemeyen, oda sıcaklığı ile suyun normal kaynama sıcaklığında, bir ve iki saatlik sürelerde uygulanmıştır. Suda çözülmüş maddeler, çözünmeyen katı üzerinden gravimetrik olarak saptanmıştır. Önışlemlerden elde edilen tüm sulu fazlara 30 °C'de, pH=6-7'de ve 30 günlük süreyle anaerobik işlem uygulanmıştır. Sulu fazların anaerobik işlemi süresinde, üçer gün arayla gaz ölçümleri yapılmış, maksimum suda çözünürlüklerin elde edildiği sulu fazların anaerobik işleminde ise gaz ölçümleri ile birlikte KOİ, BOİ ve MLSS analizleri Standart Metotlara göre yapılmıştır.

Çalışma sonunda tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğünde ve tavuk gübresinin biyogaz ve metan üretim veriminde etkin olduğu, önışlemlerde ise bazik önışlemlerin asidik önışlemlerden daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** tavuk gübresi, biyogaz, önışlem, suda çözünürlük, anaerobik işlem

## ABSTRACT

Developing new and renewable energy technologies are becoming common worldwide and biomass energy appear to be attractive and effective solution. It is well known that, many kind of waste can be used for biogas production via anaerobic digestion. Biogas and methane yield are depending on the biodegradability of raw material. Recent studies are aimed to increase the biodegradability of biomass by many pretreatment processes.

In this study, the effects of thermal, chemical and thermochemical pretreatment of chicken manure on water solubility of solid fraction of chicken manure and biogas and methane yield of chicken manure have been investigated. The aqueous slurries of the chicken manure (10 % by mass) have been treated with NaOH and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (10 %, 15 % and 20 % by mass of the solid) and without chemicals, at room temperature and at boiling temperature of water for one and two hours, separately. The percentages of water solubility of solid chicken manures were determined gravimetrically by weighing the dry solid left. The aqueous phases were used for anaerobic digestion at 30 °C, at pH=6-7 and for 30 days and while the anaerobic process gas measurement was done every three-day intervals for all samples. Also, the aqueous slurries which the maximum water solubilities determined were analyzed to determine COD, BOD and MLSS according to Standard Methods.

From the results it was found that the basic thermochemical pretreatment of chicken manure slurry is effective for increasing biodegradability and methane yield of chicken manure.

**Key words:** poultry manure, biogas, pretreatment, water solubility, anaerobic digestion

## TEŞEKKÜR

Yaőadığımız birçok zorluklara rağmen, tüm hayatım boyunca hiçbir zaman benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen BABAM, ANNEM ve kardeşim DİNÇER'e, lisansüstü eğitimimde gerek bilimsel ve akademik, gerekse sosyal konularda her türlü yardımlarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Fadime TANER'e ve desteklerinden dolayı sevgili ASLI'ya teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZ</b>	I
<b>ABSTRACT</b>	II
<b>TEŞEKKÜR</b>	III
<b>İÇİNDEKİLER</b>	IV
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b>	X
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b>	XI
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b>	XIV
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b>	<b>4</b>
<b>2.1 ANAEROBİK İŞLEM VE BİYOGAZ OLUŞUMU</b>	<b>4</b>
2.1.1. Anaerobik İşlem	4
2.1.1.1. Anaerobik işlemin aşamaları	4
2.1.1.2. Anaerobik işlemin mikrobiyolojisi	5
2.1.1.3. Anaerobik işlemin avantajları ve dezavantajları	7
2.1.1.4. Anaerobik reaktörden çıkan atıklar ve kullanımı	7
2.1.2. Biyogaz	8
2.1.2.1. Biyogaz üretiminin gelişimi	8
2.1.2.2. Biyogaz üretiminde kullanılan maddeler (atıklar)	10
2.1.3. Biyogaz Üretimi İle İlgili Araştırmalar	11
2.1.3.1. Tarımsal atıklar	11
2.1.3.2. Endüstriyel atıklar	12
2.1.3.3. Hayvan atıkları	15
2.1.3.4. Evsel atıklar	18

2.1.4. Biyogaz Bileşenlerinin Özellikleri	19
2.1.4.1. Metan (CH <sub>4</sub> )	19
2.1.4.2. Karbon dioksit (CO <sub>2</sub> )	19
2.1.4.3. Hidrojen sülfür (H <sub>2</sub> S)	20
2.1.4.4. Hidrojen (H <sub>2</sub> )	20
2.1.5. Biyogazdaki Metanın Saflaştırılması ve Kullanım Alanları	21
2.1.6. Anaerobik İşlemleri Etkileyen Faktörler	24
2.1.6.1. Sıcaklık	24
2.1.6.2. pH	26
2.1.6.3. Besin elementleri	26
2.1.6.4. Kütleli organik madde besleme hızı	27
2.1.6.5. Toksik maddeler	29
2.1.6.6. Alıkonma süresi	30
2.1.6.7. Toplam katı ve suda çözülmüş maddeler	31
2.1.7. Anaerobik Reaktörler	31
2.1.7.1. Sabit yataklı dolgulu reaktörler	31
2.1.7.2. Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler	32
2.1.7.3. Anaerobik akışkan yataklı reaktörler	33
2.1.7.4. Anaerobik perdeli (şaşırtmalı) reaktörler	34
2.1.7.5. Aşağı akışlı sabit yataklı dolgulu film reaktörler	35
2.2. HAMMADDEYE UYGULANAN ÖNİŞLEMLER ve BİYOGAZ ÜRETİM VERİMİNE ETKİLERİ	36
2.2.1. Biyolojik Önışlemler ve Etkileri	36
2.2.2. Kimyasal Önışlemler ve Etkileri	38
2.2.3. Fiziksel Önışlemler ve Etkileri	38
2.2.4. Termokimyasal Önışlemler ve Etkileri	39

<b>3. MATERYAL ve METOT</b>	<b>44</b>
<b>3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN HAMMADDE</b>	<b>44</b>
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Hammadde	44
3.1.2. Hammaddenin Özelliklerinin Saptanması	44
3.2.1.1. Nem ve kuru madde tayini	44
3.2.1.2. Uçucu madde ve kül tayini	45
<b>3.2. HAMMADDEYE UYGULANAN ÖNİŞLEMLER</b>	<b>45</b>
3.2.1. Kimyasal Önışlemler	46
3.2.1.1. Asidik kimyasal önışlemler	46
3.2.1.2. Bazik kimyasal önışlemler	46
3.2.2. Termokimyasal Önışlemler	46
3.2.2.1. Asidik termokimyasal önışlemler	46
3.2.2.2. Bazik termokimyasal önışlemler	47
3.2.3. Termal Önışlemler	47
<b>3.3. SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜN SAPTANMASI</b>	<b>47</b>
<b>3.4. ANAEROBİK İŞLEMLER</b>	<b>49</b>
3.4.1. Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşlemi	50
3.4.1.1. Uygulanan anaerobik işlem koşulları	50
3.4.1.2. Biyogaz ve metan miktarlarının saptanması	50
3.4.2. Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşlemi ve İzlenmesi	51
3.4.2.1. Uygulanan anaerobik işlem koşulları	51



3.4.2.2. Biyogaz ve metan miktarlarının saptanması	52
3.4.2.3. Uygulanan analizler	53
<b>4. BULGULAR ve TARTIŞMA</b>	<b>55</b>
4.1. KULLANILAN HAMMADDENİN ÖZELLİKLERİ	55
4.2. UYGULANAN ÖNİŞLEMLERİN TAVUK GÜBRESİNDEKİ KATI MADDENİN SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNE ETKİLERİ	55
4.2.1. Kimyasal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri	59
4.2.1.1. Asidik kimyasal önışlemlerin tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğüne etkileri	59
4.2.1.2. Bazik kimyasal önışlemlerin tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğüne etkileri	61
4.2.2. Termokimyasal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri	63
4.2.2.1. Asidik termokimyasal önışlemlerin tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğüne etkileri	64
4.2.2.2. Bazik termokimyasal önışlemlerin tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğüne etkileri	66
4.2.3. Termal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri	69
4.3. ÖNİŞLEMDEN ELDE EDİLEN SULU FAZLARIN ANAEROBİK İŞLEMİNDE SUDA ÇÖZÜNMÜŞ MADDELERİN BİYOGAZ VE METAN ÜRETİM VERİMLERİ	71

4.3.1. Kimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşlemlerinde Suda Çözünmüş Maddelerin Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri	71
4.3.1.1. Asidik kimyasal önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işlemlerinde suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri	75
4.3.1.2. Bazik kimyasal önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işlemlerinde suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri	79
4.3.2. Termokimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşlemlerinde Suda Çözünmüş Maddelerin Biyogaz Ve Metan Üretim Verimleri Ve Tartışma	83
4.3.2.1. Asidik termokimyasal önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işlemlerinde suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri ve tartışma	83
4.3.2.2. Bazik termokimyasal önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işlemlerinde suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri ve tartışma	86
4.3.3. Termal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu fazların anaerobik işlemlerinde suda çözünmüş maddelerin Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri ve Tartışma	90
4.3.4. Orijinal Numunenin Anaerobik İşleminde Saptanan Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri	92
4.4. MAKSİMUM SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜN ELDE EDİLDİĞİ SULU FAZLARIN ANAEROBİK BİYOLOJİK PARÇALANMA SÜRESİNCE BİYOGAZ VE METAN ÜRETİM MİKTARLARININ ZAMANLA DEĞİŞİMİ	94

4.4.1. Asidik Önişlemlerde Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazın Anaerobik Biyolojik Parçalanma Süresince Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi	94
4.4.1.1. Biyogaz ve metan üretim miktarları	94
4.4.1.2. Biyolojik parçalanma süresince BOİ'nin zamanla değişimi	96
4.4.1.3. Biyolojik parçalanma süresince KOİ'nin zamanladeğişimi	97
4.4.1.4. Biyolojik parçalanma süresince MLSS'nin zamanla değişimi	98
4.4.2. Bazik Önişlemlerde Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazın Anaerobik Biyolojik Parçalanma Süresince Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi ile İlgili Bulgular ve Tartışma	99
4.4.2.1. Biyogaz ve metan üretim miktarları	100
4.4.2.2. Biyolojik parçalanma süresince BOİ'nin zamanla değişimi	100
4.4.2.3. Biyolojik parçalanma süresince KOİ'nin zamanladeğişimi	101
4.4.2.4. Biyolojik parçalanma süresince MLSS'nin zamanla değişimi	101
4.4.3. Termal Önişlemlerde Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazın Anaerobik Biyolojik Parçalanma Hızı ve Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının ile İlgili Bulgular ve Tartışma	102
4.4.3.1. Biyogaz ve metan üretim miktarları	102
4.4.3.2. Biyolojik parçalanma süresince BOİ'nin zamanla değişimi	103
4.4.3.3. Biyolojik parçalanma süresince KOİ'nin zamanladeğişimi	104
4.4.3.4. Biyolojik parçalanma süresince MLSS'nin zamanla değişimi	104
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b>	<b>105</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>107</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>116</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
Çizelge 2.1. Anaerobik İşlemlerin Avantaj ve Dezavantajları	7
Çizelge 2.2. Metanın Bazı Özellikleri	20
Çizelge 2.3. Karbondioksitin Bazı Özellikleri	20
Çizelge 2.4. Hidrojen Sülfürün Bazı Özellikleri	21
Çizelge 2.5. Hidrojenin Bazı Özellikleri	21
Çizelge 2.6. Çeşitli Yakıtların Isıl Değerleri	22
Çizelge 2.7. Anaerobik Mikroorganizmalar İçin Gerekli Besin Elementleri	27
Çizelge 2.8. Bazı Maddelerin Anaerobik Arıtımı Durdurucu Derişimleri	30
Çizelge 4.1. Çalışmada Kullanılan Tavuk Gübresinin Özellikleri	55
Çizelge 4.2. Hammaddeye Uygulanan Önışlemler	56
Çizelge 4.3. Önışlemlerle Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlükleri	57
Çizelge 4.4. Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Saptanan Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri ve Biyogazdaki Metanın Hacimsel Yüzdeleri	72

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
Şekil 2.1. Biyokütlenin Anaerobik Fermantasyonundaki Aşamalar ve Mikroorganizma Grupları	6
Şekil 2.2. Sabit Yataklı Reaktör	32
Şekil 2.3. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yataklı Reaktör (UASB)	33
Şekil 2.4. Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktör	34
Şekil 2.5. Anaerobik Şaşırtmalı Reaktör	34
Şekil 2.6. Aşağı Akışlı Sabit Yataklı Film Reaktör	35
Şekil 3.1. Taze Tavuk Gübresine Uygulanan Önışlemlerin Şematik Olarak Gösterimi	48
Şekil 3.2. Araştırmada Kullanılan Gaz Toplama ve Miktarını Ölçme Düzenneği	52
Şekil 4.1. Önışlemlerle Tavuk Gübresindeki Katı Maddeni Suda Çözünme Yüzdeleri	58
Şekil 4.2. Asidik Kimyasal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri	60
Şekil 4.3. Bazik Kimyasal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri	62
Şekil 4.4. Asidik Termokimyasal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri	65
Şekil 4.5. Bazik Termokimyasal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri	67
Şekil 4.6. Termal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri	69
Şekil 4.7. Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri	73
Şekil 4.8. Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri	74

<b>Şekil 4.9.</b> Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogazın Hacimce Yüzde Metan İçerikleri	75
<b>Şekil 4.10.</b> Asidik Kimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri	76
<b>Şekil 4.11.</b> Asidik Kimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri	78
<b>Şekil 4.12.</b> Bazik Kimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri	80
<b>Şekil 4.13.</b> Bazik Kimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri	81
<b>Şekil 4.14.</b> Asidik Termokimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri	84
<b>Şekil 4.15.</b> Asidik Termokimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri	85
<b>Şekil 4.16.</b> Bazik Termokimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri	88
<b>Şekil 4.17.</b> Bazik Termokimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri	89
<b>Şekil 4.18.</b> Termal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri	90

<b>Şekil 4.19.</b> Termal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri	91
<b>Şekil 4.20.</b> Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Eklenik Biyogaz Miktarları	95
<b>Şekil 4.21.</b> Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Eklenik Metan Miktarları	95
<b>Şekil 4.22.</b> Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşlemi Süresince BOİ Değişimi	97
<b>Şekil 4.23.</b> Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşlemi Süresince KOİ Değişimi	98
<b>Şekil 4.24.</b> Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşlemi Süresince MLSS Değişimi	99

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGE	İNGİLİZCE	AÇIKLAMA ve/veya TÜRKÇE
ABR	Anaerobic Baffled Reactor	Anaerobik Şaşırtmalı Reaktör
AFB	Anaerobic Fluidized Bed Reactor	Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktör
AKM	(TSS) Total Suspended Solid	Askıda Katı Madde
BOİ	(BOD) Biological Oxygen Demand	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CSTR	Continuous Stirred Tank Reactor	Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör
DSFF	Downflow Stationary Fixed Film Reactor	Aşağı Akışlı Sabit Yataklı Film Reaktör
FFR	Fixed Film Reactor	Sabit Yataklı Reaktör
HRT	Hydraulic Retention Time	Hidrolik Alıkonma Süresi: Reaktör hacminin bir günde sisteme verilen madde hacmine oranıdır.
KOİ	(COD) Chemical Oxygen Demand	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Mtep	Mega Tone Petroleum Equivalent	Mega Ton Petrol Eşdeğer
Mtoe	Mega Tone Oil Equivalent	Mega Ton Yağ Eşdeğer
OLR	Organic Loading Rate	Organik Yükleme Hızı
SRT	Solid Retention Time	Katı Alıkonma Süresi: sistemdeki uçucu madde kütlelerinin, sistemden bir günde çıkan uçucu katı madde kütlelerine oranıdır.
TAKM	(TSS) Total Suspended Solids	Toplam Askıda Katı Madde
TKM	(TS) Total Solid	Toplam Katı Madde
TOK	(TOC) Total Organic Carbon	Toplam Organik Karbon
UAKM	(VSS) Volatile Suspended Solid	Uçucu Askıda Katı Madde
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor	Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yataklı Reaktörler
UFAF	Upflow Anaerobic Filter Reactor	Yukarı Akışlı Anaerobik Filtre Reaktör
UKM	(VS) Volatile Solid	Uçucu Katı Madde
UYA	(VFA) Volatile Fatty Acids	Uçucu Yağ Asitleri
OS		Oda Sıcaklığı
SNKS		Suyun Normal Kaynama Sıcaklığı



## 1. GİRİŞ

Dünyada doğal enerji kaynakları ile fosil kaynaklı yakıtların azalması ve bu yakıtların neden olduğu çevresel sorunların her geçen gün artması ile araştırmalar yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ve bu kaynaklardan yaygın kullanılan enerji kaynaklarında yeni teknolojilerin geliştirilmesine yönelmiştir. Günümüzde ülkeler fosil kaynaklı yakıtların kullanımından vazgeçip yerine rüzgar, dalga, güneş ve özellikle biyokütle enerjisi kullanımına yönelmişlerdir.

Türkiye milli gelirinin büyük bir kısmını tarım ve hayvancılıktan sağlayan, gelişmekte olan ülkelere biridir ve ülkenin enerji gereksinimi nüfus ve teknolojik gelişmelere paralel olarak artmaktadır. Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, 1999 Enerji raporuna göre Türkiye'nin birincil enerji gereksinimi 1999 yılında 76.8 Mtep iken buna karşılık enerji üretimi ise 27.1 Mtep olarak gerçekleşmiş ve bu değerlerin 2020 yılında 298.4 Mtep ile 70.2 Mtep olması beklenmektedir. Enerji üretiminin yavaş, tüketiminin hızlı artması neticesinde Türkiye enerji açığını enerji ithalatı yaparak kapatma yoluna gitmiş ve toplam enerji gereksiniminin 1990 da % 54'ünü ve 1999 da % 64'ünü net ithalatla karşılamıştır. 2020 yılında ise enerji ithalatının %76'ya ulaşması tahmin edilmektedir [1].

Son yıllarda biyokütle önemli bir enerji kaynağı olarak görülmekte ve biyokütle enerjisi gelişmiş ülkelerde temel enerji üretiminin önemli bir payını oluşturmaktadır. Gelişmiş ülkeler, teknolojik gelişmelere bağlı olarak biyokütleden enerji üretim sistemlerini araştırıp, tarımsal, hayvansal, evsel ve endüstriyel atıklardan biyogaz üretim sistemlerini kurmuşlar ve merkezi enerji üretim sistemlerinde uygulayıp özellikle nemi yüksek hayvansal atıklardan üretilen biyogazdan enerji eldesi yoluna girmişlerdir. Özellikle Danimarka, Almanya, İsveç, İsviçre, İtalya ve Amerika gibi gelişmiş ülkelerde merkezi [2], Hindistan [3-5], Nijerya [6], Latin Amerika ülkeleri [7], Kenya [8] ve Pakistan [9] gibi hayvancılığın gelişmiş olduğu az gelişmiş ülkelerde ise enerji planlamalarında biyokütle enerjisinin kullanımına yer verilmekte ve çiftlik türü küçük biyogaz üretim tesisleri kurularak kırsal kesimin enerji ihtiyacının önemli bir bölümü karşılanmaktadır.

Türkiye'de büyük potansiyelde hayvansal atıkların olduğu FAO istatistiklerinden [10] ve ülkemizde biyokütle ile ilgili yapılan çalışmalardan

bilinmektedir. Çalışmalar, enerji sorununa çözüm yollarından birinin, potansiyel atıkların etkin enerji kaynağı olarak kullanımının gerekliliğini ortaya koymaktadır. M. Acaroğlu tarafından yapılan çalışmada, Türkiye’de yılda 50-65 Mt tarımsal atık ve 11.05 Mt hayvansal atık üretilmekte ve bu atıkların % 60’ının enerji üretimi için kullanılabilir nitelikte olduğu belirtilmektedir. Tarımsal ve hayvansal atıkların ısı değerlerinin 16.50-18.40 MJ/kg arasında değiştiği, tarımsal ve hayvansal atıklardan elde edilecek enerjinin sırasıyla, yaklaşık 467-623 ve 50.172 PJ (Peta Joule) olduğu ve bu enerjinin de Türkiye’nin yıllık enerji tüketiminin % 22-27’sine eşit olduğu belirtilmektedir [11]. Bir başka çalışmada ise, 1998 yılında Türkiye’de tarımsal, endüstriyel, hayvansal ve evsel atıklar ile evsel atıksu ve orman ürünlerinden elde edilecek enerjinin 16.92 Mtoe olduğu belirtilmektedir [12].

Ülkemizde biyokütle potansiyelinin önemli bir bölümü, ülkenin önemli ticari faaliyetleri arasında yer alan ve son 30-40 yılda diğer hayvancılık faaliyetlerinden daha hızlı bir şekilde artış gösteren yumurta ve tavuk eti üreticiliğinden kaynaklanmaktadır.

Ancak bu tesislerden çıkan atıklar da tarımsal atıklar gibi doğrudan kullanım alanları bulunmamaktadır. Bu maddeler çevreye atılıp çevrede biyolojik parçalanmaya terk edilmekte ve biyolojik parçalanma sürecinde oluşan uçucu organik maddeler havaya yayılmaktadır. Havaya yayılan uçucu maddeler yapılarına bağlı olarak fotokimyasal olaylara ve ozon tüketimine yol açmakta, hemde çevrede kendilerine özgün kokuların yayılmasına, sinek, fare vb. zararlı canlıların üremesine de yol açmaktadır.

Nemi yüksek olan bu maddelerin biyolojik parçalanma süreci kontrol altına alındığında, üreyen metan ( $CH_4$ ) gazı yakıt olarak kullanılabilir. Üretilen  $CH_4$ ’ın, söz konusu işletmelerin enerjilerini karşılayabileceği gibi boru hatlarıyla konutlarda kullanımı da sağlanabilmekte, ayrıca anaerobik reaktörden çıkan atıklar da tarımsal faaliyetlerde gübre olarak kullanılabilir [13].

Dünyada merkezi biyogaz üretim sistemlerinin kurulduğu ve üretilen biyogazdan önemli miktarlarda enerji üretildiği ve konuyla ilgili çalışmaların, biyogaz üretim verimini arttırmak amacıyla, yoğun bir biçimde sürdürüldüğü görülmektedir. Bu çalışmaların en başında ise kullanılan hammaddelerin, çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik ön işlemlerle suda çözülmüş forma dönüştürülerek,

suda çözünmüş formda anaerobik reaktöre beslenmesi gelmektedir. Özellikle termokimyasal ön işlemlerin anaerobik reaktörlerde kabuk oluşum sorununu ortadan kaldırarak işletme sorunlarını giderdiği ve böylece anaerobik işlemlerde biyogaz üretim verimini artırdığı bilinmektedir.

Çalışmada, Türkiye’de önemli bir ekonomik potansiyele sahip yumurta ve et tavukçuluğundan oluşan tavuk gübresinin etkin biyogaz üretimi amacıyla değerlendirilmesi ve tavuk gübresinden elde edilecek biyogaz üretim veriminin ve anaerobik sistemlerin ekonomik işletimi için tavuk gübresinin termal, kimyasal ve termokimyasal ön işlemlerle suda çözünmüş forma dönüştürmesinin biyogaz üretim verimine ve biyolojik parçalanmaya etkileri araştırılmıştır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1 ANAEROBİK İŞLEM VE BİYOGAZ OLUŞUMU

Organik maddelerin değerlendirilmesi ve kullanılabilir başka ürünlere dönüşüm teknolojileri arasında biyoteknolojinin önemli bir yer aldığı bilinmektedir. Biyoteknolojik yöntemlerin başında ise, özellikle katı atıkların değerlendirilmesi ve metan gazı üretiminde yaygın olarak kullanılan anaerobik işlem gelmekte ve gün geçtikçe anaerobik proses verimliliğini artıran çalışmaların yoğun bir biçimde sürdürüldüğü bilinmektedir.

#### 2.1.1. Anaerobik İşlem

Anaerobik işlem büyük ve karmaşık yapılu organik moleküllerin oksijensiz ortamda mikroorganizmaların vasıtasıyla başka ürünlere dönüştürülmesidir.

Bir anaerobik işlemde karmaşık yapılu organik maddelerin tamamen metana dönüşebilmesi için ortamda farklı türden ve birbirine bağımlı mikroorganizma gruplarının bulunması gerekmektedir. Bu mikroorganizma grupları hidroliz bakterileri, asit oluşturan bakteriler ve metan üreten bakterilerdir. Her mikroorganizma grubu kendilerinden önceki grupların ürettikleri maddeleri besin maddesi olarak kullanmakta ve ardından bir başka grup bakterilerin besin maddelerine çevirmektedir. Hiçbir mikroorganizma, basit yapılu maddeler dahi olsa bir organik maddeyi, tek başına metana dönüştürememektedir [14].

##### 2.1.1.1. Anaerobik işlemin aşamaları

Anaerobik İşlem, temelde 3 ana aşamada gerçekleşmektedir.

- Hidroliz Aşaması
- Asit Oluşum Aşaması
- Metan Oluşum Aşaması

Hidroliz aşamasında karmaşık yapılu organik moleküller, mikroorganizmaların hücre dışı enzimleri ile daha küçük ve daha basit yapıda moleküllere dönüşmektedir.

Bu aşamada selüloz, lignin ve hemiselüloz gibi karbonhidratlar glikoz, pentoz ve heksoza; proteinler, polipeptid ve aminoasitlere; ve yağlar ise alkoller, asitler ve hidrojene dönüşmektedir. Yağların hidrolizi çok yavaş gerçekleştiğinden, hidroliz aşaması anaerobik işlemlerde biyolojik parçalanma hızını belirleyen aşamadır.

Asit oluşum aşamasında, hidroliz aşamasında asit oluşum aşamasında görev alan mikroorganizmalar tarafından kullanılabilir yapıya dönüştürülen organik moleküller valerik asit, bütirik asit, propiyonik asit ve asetik asit gibi organik asitlere, ve metanola dönüştürülmektedir. Bu aşamada çözülmüş karbonhidratlar etanol, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'e, amino asitler, süksinik asit ve H<sub>2</sub>'e, yağ asitleri ise asetat ve H<sub>2</sub>'e dönüşmektedir.

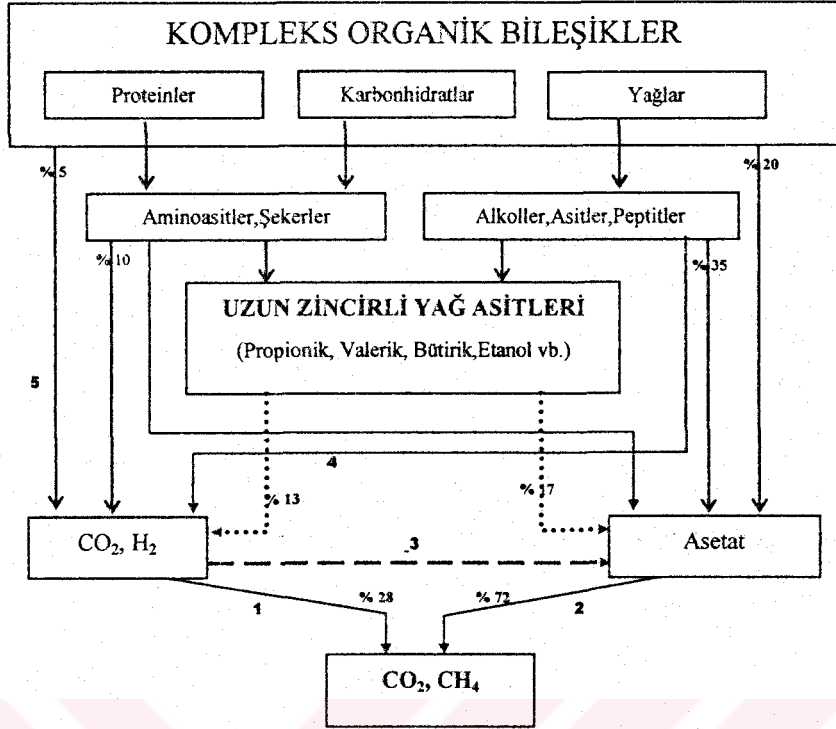
Metan oluşum aşamasında ise, asit oluşum aşamasında oluşan organik asitler, H<sub>2</sub> ve asetat, metan oluşturan mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve metan (CH<sub>4</sub>), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), hidrojen (H<sub>2</sub>) ve amonyak (NH<sub>3</sub>) gazlarının karışımından oluşan ve "Biyogaz" olarak adlandırılan gaz karışımına dönüştürülmektedir. Bu aşamada oluşan metanın % 70'i asetatın dekarboksilasyonu, geriye kalanı ise hidrojen kullanan metan bakterileri tarafından CO<sub>2</sub>'in indirgenme reaksiyonları ile oluştuğu belirtilmektedir [14, 15].

#### 2.1.1.2. Anaerobik işlemin mikrobiyolojisi

Şekil 2.1.'de biyokütlenin anaerobik fermantasyonundaki aşamalar ve mikroorganizma grupları görülmektedir.

Anaerobik işlemlerde görev yapan temel bakteriler, dönüştürdükleri maddelere göre gruplandırılmıştır[14, 15]. Bunlar;

- Proteinleri, amino asit ve şekerlere dönüştüren bakteriler: *Clostridium*, *Proteus vulgaris*, *Bacteriodes*, *Peptococcus*, *Bacillus*, *Vibrio*,
- Karbonhidratları basit şekerlere dönüştüren bakteriler: *Clostridium*, *Bacteriodes*, *Staphylococcus*, *Acetovibrio cellulities*,
- Yağları: yağ asitleri, amino asitler ve alkollere dönüştüren bakteriler: *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Micrococcus* ,
- Amino asit ve şekerleri, yağ asitleri, ve alkollere dönüştüren bakteriler: *Zymomonas mobilis*,



**Şekil 2.1.** Biyokütlenin Anaerobik Fermantasyonundaki Aşamalar ve Mikroorganizma Grupları; 1: Hidrojen kullanan metan bakterileri, 2: Asetat kullanan metan bakterileri, 3: Homoasetojen bakteriler, 4: Asit üreten bakteriler ve 5: Hidrolitik-asit bakterileri [14, 16].

- Amino asitleri doğrudan asetata dönüştüren bakteriler: *Lactobacillus*, *Escherichia*, *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Desulfovibrio*, *Selenomonas*, *Sarcina*, *Streptococcus*, *Desulfobacter*, *Desulphuromonas*,
- Amino asitleri ara ürünlere dönüştüren bakteriler: *Clostridium*, *Streptococcus*, *Eubacterium*,
- Yağ asitleri ve alkolleri ara ürünlere dönüştüren bakteriler: *Clostridium*, *Syntrophomonas wolfei*,
- Ara ürünleri asetat ve H<sub>2</sub>'e dönüştüren bakteriler: *Syntrophomonas wolfei*, *Syntrophobacter wolinii*,
- Asetatı H<sub>2</sub>'e dönüştüren bakteriler: *Clostridium aceticum*,
- Asetatı metana dönüştüren bakteriler: *Methanothrix*, *Methanosarcina*, *Methanosprillum* ve
- H<sub>2</sub>'i metana dönüştüren bakteriler: *Methanobacterium*, *Methanobrevibacterium*, *Methanoplanus* tır.

Gruplarda görüldüğü gibi farklı mikroorganizmalar farklı yollarla büyük moleküllerin parçalanmasına yol açmaktadırlar.

### 2.1.1.3: Anaerobik işlemin avantajları ve dezavantajları

Biyolojik proseslerden aerobik ve anaerobik prosesler karşılaştırıldığında, anaerobik işlemlerin en önemli avantajının düşük enerji gereksinimi, kullanılabilir ürünler ve düşük atık miktarı olduğu görülmektedir. Bu temel avantajların dışında, anaerobik sistemlerin diğer avantaj ve dezavantajları **Çizelge 2.1.**'de verilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Anaerobik İşlemlerin Avantaj ve Dezavantajları [14].

Avantajları	Dezavantajları
Düşük işletme maliyeti	Isıtma gereksinimi
Düşük atık çamur üretimi	Düşük sıcaklıklarda hız yavaş
Aerobik olarak giderilemeyen maddelerin giderimi	Metan bakterilerinin çevresel koşullara hassasiyeti
Atık çamurun gübre olarak kullanımı	
Düşük besin elementi gereksinimi	
Düşük reaktör hacmi	
Atık gaz arıtım gereksinimi yok	
Düşük köpük problemi	
Mevsimsel şartlara uygunluk	
Yüksek hacimsel yükleme olanakları	
500-2000 kWh/1000 kgKOİ enerji üretimi	
0.35 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /kgKOİ <sub>giderilen</sub> üretimi	
Düşük ekipman gereksinimi	

### 2.1.1.4. Anaerobik reaktörden çıkan atıklar ve kullanımı

Anaerobik reaktörlerden çıkan ve çamur veya atık olarak adlandırılan maddeler Azot (N), Fosfor (P), Potasyum (K) ve bir çok iz element içeriğinden dolayı iyi bir bitki besin element kaynağı ve organik madde açısından iyi bir toprak iyileştirici

maddedir. Bu atıklar kurutulduğunda hayvan yemlerine katılan katkı maddesi olarak da değerlendirilmektedir.

Ancak fermentöre beslenen maddelerde bulunabilecek toksik maddeler (pestisit vs.), reaktör çıkışında konsantre olacağından, reaktörlerden çıkan maddelerin değerlendirilmesinden önce analizler yapılmalıdır [17].

### 2.1.2. Biyogaz

Anaerobik işlem sonucu oluşan biyogaz, temelde %50-80 CH<sub>4</sub> (metan) ve % 20-50 CO<sub>2</sub> (karbon dioksit) ve çok az miktarlarda hidrojen, karbon monoksit ve hidrojen sülfür gibi diğer gazlardan oluşmaktadır [14,17]. Biyogazın içerdiği gazların bileşimi ise reaktöre beslenen maddenin özelliklerine, sıcaklığa, hammaddenin su içeriğine, reaktöre yükleme hızına, sistemin işletim şartlarına ve reaktördeki bakteriyel faaliyetlere bağlı olarak değişmekte, bu da biyogazdan elde edilecek enerjiyi etkilemektedir [18].

#### 2.1.2.1. Biyogaz üretim işletmelerini gelişimi

**Dünyadaki Gelişimi:** Biyogazla ilgili ilk araştırmalar 17. Yüzyılda Jan Baptista van Helmont tarafından, organik maddelerin oksijensiz ortamda parçalanmasıyla yanabilen bir gazın çıktığının belirlenmesiyle başlamıştır [19]. Daha sonra yanabilen bu gazın parçalanmış organik madde miktarı ile orantılı olduğu, 1776 da Alessandro Volta tarafından kanıtlanmıştır. Volta tarafından göl sedimanından gaz kabarcıklarının çıktığını gözlemesi ve sedimandan aldığı örneklerde yaptığı deneylerde ürettiği gaza 1787 yılında Lavoisier ve diğer araştırmacılar tarafından 'Karbonlu Hidrojen' adı verilmiş ve bu terim 1865'te Uluslararası Kimya Kongresinde 'metan' olarak kabul edilmiştir [20].

Bilimsel anlamda biyogazla ilgili ilk araştırma 1808 yılında Sir Humphry Davy tarafından sığır gübresinden oksijensiz ortamda biyogazın üretilmesine rağmen biyogazın uygulamalı ve ticari kullanımı 1840 ta Yeni Zelanda'nın Otowa kentinde ve 1859'da Hindistan'ın Bombay kentinde bir koloni tarafından biyogaz üreteçlerinin kurulması ile başlamıştır. 1895'te İngiltere'nin Exeter kentinde özel kanalizasyon



sistemleriyle üretilen biyogaz sokak lambalarında aydınlatma amacıyla kullanılmıştır [20].

Anaerobik İşlemin mikrobiyolojisi ile ilgili çalışmalar ise 1930'larda Buswell tarafından anaerobik bakterinin tanımlanması ve anaerobik işlem için optimum koşulların belirlenmesi ile başlamıştır [21].

Anaerobik işlem çalışmaları, II. Dünya savaşına kadar sürmüştür ancak II. Dünya savaşıyla ortaya çıkan petrol krizi ile özellikle Avrupa'da, biyogazın yakıt olarak kullanımı gündeme gelmiştir. 1940-1970 yılları arasında Kuzey Amerika ve Avrupa'da, çamur stabilizasyon tekniklerinin ve anaerobik reaktörlerin kullanımının geliştiği görülmektedir. 1950-1970 arasında ise Hindistan, Çin ve Güneydoğu Asya da küçük çiftlik tipi anaerobik reaktörler hızla çoğalmıştır. 1960'larda endüstriyel atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin gündeme gelmesi ile anaerobik sistemler, hem enerji üretimi, hem de çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla geliştirilmiş ve kullanılmıştır. 1973 petrol krizi ile anaerobik sistemler bütün dünyada gelişme göstermiş, biyogazın kullanımı ile ilgili enerji politikaları ve programları uygulamaya alınmıştır. Bu yıllarda Hindistan ve Çin, anaerobik reaktörlerden üretilen enerjiyi şehirlerde elektrik enerjisini karşılamak amacıyla kullanmıştır [21].

1985'ten itibaren biyokütle enerjisi, enerji planlamalarında önemli bir potansiyel olmuş ve anaerobik artımla ilgili çalışmalar, projeler ve programlar gelişmeye başlamıştır. 1990'lardan sonra, gelişmiş ülkeler teknolojik gelişmelere paralel olarak, merkezi biyogaz üretim tesisleri kurarak, enerji ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü bu tesislerden karşılamaktadırlar [21], Dünyada, 1990-2000 yılları arasında, 47'si Almanya'da, 22'si Danimarka'da ve Avusturya, İsveç ve İsviçre'de 10'ar adet olmak üzere toplam 135 adet merkezi biyogaz üretim tesisi kurulmuş ve işletilmektedir. Bu tesislerde yılda 11.472 Mton evsel ve endüstriyel organik atıklar ile hayvan gübreleri anaerobik olarak artılmaktadır [19].

**Türkiye'deki Gelişimi:** Tüm dünyada önemli bir uygulama alanı olan biyogaz üretim teknolojileri her geçen gün gelişmesine rağmen, Türkiye'de biyogaz konusunda yapılmış çalışmalar neredeyse yok denecek kadar azdır. Başlangıçta akademik düzeyde ele alınmış bu çalışmalar, 1960'larda çeşitli lisansüstü çalışmalarla başlamış ve daha sonra projelere bağlı düzenli çalışmalara başlanarak

Eskişehir Toprak Su Araştırma Enstitüsünde bir biyogaz üretici kurulmuştur. Daha sonraki yıllarda biyogaz üretimi ile ilgili önemli bir gelişme sağlanamamıştır. Ancak günümüzde konunun ciddiyeti daha iyi anlaşılmakta ve konuyla ilgili bilimsel çalışmalarda artış gözlenmektedir.

#### 2.1.2.2. Biyogaz üretiminde kullanılan maddeler (atıklar)

Biyogaz üretiminde özellikle nemi yüksek katı organik atıkların sıkça kullanıldığı bilinmektedir. Ayrıca organik madde derişimi yüksek olan atıksular da çeşitli yöntemlerle biyogaz üretim amaçlı kullanılmaktadır. Biyogaz üretiminde kullanılacak atıklar aşağıda listelenmiştir.

Katı organik atıklar;

- Evsel katı atıkların (MSW) organik kısmı (karışık atıklar)
- Evlerde kaynaktan ayrılan geri dönüşümsüz katı organik atıklar

(mutfak atıkları)

- Ticari ve endüstriyel kaynaklı organik katı atıklar
- Tarımsal atıklar ve kullanılmayan yan ürünler
- Lokanta, kantin ve market katı atıkları
- Gıda endüstrisi katı atıkları
- Hayvan gübreleri
- Mezbahane atıkları (işkembe, mide ve bağırsak içerikleri ve yıkama suları)

- Kanalizasyon ve dip çamuru
- Biyolojik atıksu arıtma çamurları

Organik madde derişimi yüksek atıksular

- Gıda endüstrisi atıksuları
- Mezbahane atıksuları
- Evsel nitelikli atıksular

### 2.1.3. Biyogaz Üretimi İle İlgili Araştırmalar

Literatürlerde evsel katı atık, evsel atıksu, endüstriyel organik atıklar ve atıksular, tarımsal atıklar, hayvan gübrelere ve diğer organik madde ve atıklardan biyogaz üretimi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Dünyada ve Türkiye’de biyogazla ilgili yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda alt başlıklar altında özetlenmiştir.

#### 2.1.3.1. Tarımsal atıklar:

Yaş çay üretim fabrikasından çıkan atık çay yapraklarına iki aşamalı anaerobik işlem uygulanmıştır. Anaerobik işlemin ilk aşamasından (hidroliz ve asit oluşum) oldukça yüksek KOİ derişimli (12 880 mgKOİ/L) atık çıkmış ve bu atık metan üretim amaçlı kesikli reaktöre beslenerek, metan içeriği % 73 olan ortalama 0.48 m<sup>3</sup>/kgKOİ<sub>giderilen</sub> biyogaz üretilip, iki aşamalı anaerobik sistemle % 93 KOİ giderimi sağlanmıştır [22].

Portakal, elma, kayısı ve armut içeren gıda endüstrisi atıkları, 23 m<sup>3</sup> kapasiteli reaktörde, 35 °C de anaerobik arıtımı araştırılmıştır. Çalışmalar, portakal, elma, kayısı ve armut atıkları için sırasıyla 2.28, 3.5, 3.46 ve 4.49 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik yükleme ile 46, 203, 37 ve 70 günlük alıkonma sürelerinde yapılarak ortalama %55 metan içeren sırasıyla 0.474, 0.544, 0.520 ve 0.520 m<sup>3</sup>biyogaz/kgUKM<sub>eklenen</sub> üretilmiştir [23].

Portakal kabuğuna, 10 L’lik reaktörde, 37°C’de, 1-4.5 kgTKM/m<sup>3</sup>.d aralığında organik yükleme ile anaerobik işlem uygulanmıştır. Çalışma süresince reaktör her yarım saatte bir, 5 dakika, 200 rpm hızla karıştırılmıştır. Çalışma sonucunda maksimum biyogaz üretim verimi, % 55 metan içeriği ve 0.5 m<sup>3</sup> biyogaz/kgTKM ile 3 kgTKM/m<sup>3</sup>.d organik yükleme hızından elde edilmiştir [24].

Hint kirazı, ananas, domates, portakal ve muz atıkları, farklı oranlarda karıştırılarak, 60 L’lik anaerobik reaktörde, 30 °C’de, 16 ve 24 günlük HRT’ de ve 20-40 kgTKM/m<sup>3</sup>.d arasında değişen organik yükleme hızlarında anaerobik işleme tabi tutulmuştur. Çalışmada, 20 gün HRT ve 40 kgTKM/m<sup>3</sup>.d organik yükleme hızında, %52 metan içeren 106 m<sup>3</sup>biyogaz /kgUKM<sub>eklenen</sub> üretilmiştir [25].

40 gKOİ/L ve 24 gTKM/L içeren, pH=4.5'ta, kahve telveli atıksuyun mezofilik ve termofilik şartlarda kesikli ve CSTR (sürekli karıştırılmalı tank reaktör) reaktörlerde anaerobik arıtımı araştırılmıştır. Anaerobik işlem, birisi mezofilik (35°C), diğeri termofilik (55 °C) olmak üzere iki kesikli ve iki CSTR toplam 4 adet, 5 L'lik reaktörlerde yapılmıştır. Bütün reaktörlere 1.3 L atıksu konulup üzerine 5 L'ye kadar saf su ilave edilmiştir. Kesikli reaktörler her gün, mezofilik CSTR reaktör 1.3 kgKOİ/m<sup>3</sup>d (25 gün HRT) ve termofilik CSTR reaktör ise 1.6 kgKOİ/m<sup>3</sup>d (20 gün HRT) organik yükleme hızı ile çalıştırılmıştır. Çalışma sonucunda maksimum biyogaz (% 65-70 metan içeren ve 0.34 Lbiyogaz/L.d ) termofilik CSTR reaktörde üretilmiş ve reaktörde % 60 KOİ ve % 60 UKM giderimi sağlanmıştır [26].

Ay çekirdeği kafası, % 2 TKM olacak şekilde sulandırılarak, sulu karışıma (20 kgTKM/m<sup>3</sup>, 13.54 kgUKM/m<sup>3</sup>, 21.32 kgKOİ/m<sup>3</sup> ve pH=6.8 ), 55 °C'de, 8, 10 ve 15 günlük HRT'de ve 1 L'lik reaktörde anaerobik işlem uygulanmıştır. Çalışmada; 8 günlük HRT'de % 48 metan içeren 0.222 m<sup>3</sup>biyogaz/kgUKM<sub>eklenen</sub>, 10 günlük HRT'de % 58 metan içeren 0.207 m<sup>3</sup>biyogaz/kgUKM<sub>eklenen</sub> ve 15 günlük HRT'de % 62 metan içeren 0,199 m<sup>3</sup>biyogaz/kgUKM<sub>eklenen</sub> üretilmiştir. Metan içeriğinin alıkonma süresi arttıkça arttığı, metan ve biyogaz üretim veriminin ise alıkonma süresi azaldıkça arttığı belirtilmiştir [27].

### 2.1.3.2. Endüstriyel atıklar

Küba'da şeker kamışı melasından alkol distilasyonu yapan endüstrinin atıksuyunun (vinasse), aktif karbon ve doğal zeolit gibi dolgu malzemesi ile doldurulmuş anaerobik akışkan yataklı reaktörde ve 120 gün süreyle anaerobik metan üretimi araştırılmıştır. Çalışmada, 10 gKOİ/m<sup>3</sup>.d organik yükleme ile günde ortalama 2 LCH<sub>4</sub>/d metan üretilerek % 70 KOİ giderimi sağlanmıştır. Çalışmada ayrıca dolgu maddelerinin kullanımı ile atıksudaki NH<sub>4</sub> ile sülfatın da giderilebileceği, bu dolgu maddelerinin kullanıldığı AFBR reaktörlerin içki endüstrisi atık suyunun arıtımında kullanılabileceği belirtilmiştir [28].

Alkol endüstrisi atıksuyunun anaerobik arıtımında (vinasse) anaerobik reaktöre granül polimerik materyal (poliakrilonitril-akrilamit) doldurularak biyogaz üretim veriminin artırılması araştırılmıştır. Çalışma sonunda destek malzemesi üzerinde

metan bakterilerin tutuklanması ile destek maddesi üzerindeki hücre derişimi 12.3 mg/g<sub>destek</sub>'den 52.1 mg/g<sub>destek</sub>'e, metan üretim verimi ise 0.33 m<sup>3</sup>/kgKOİ<sub>giderilen</sub>'e çıkarılmıştır. Çalışmada ayrıca % 92 KOİ giderimi sağlanıp, metan bakterilerinin destek malzemesi üzerinde tutuklanması ile oksijenin inhibasyon etkisinin de azaldığı belirtilmiştir [29].

Alkol endüstrisi atıksuyunun, önce ozonla önışlem yapılarak ardından anaerobik işlem ve önışlem yapılmadan anaerobik işlem ile metan üretimi araştırılmıştır. Çalışmada 18.5 gKOİ/L, pH=3.83, 430 mg kafeik asit/L (toplam fenolik bileşik), % 13.04 TKM ve % 9.64 UKM içeren atıksu kullanılmıştır. Atıksuya önce, atıksudan 1.2 L'lik silindir tankta 40 L/h akış hızıyla ozon-oksijen gazı geçirilerek işlem uygulanmış, ardından 1.0 L'lik karıştırmalı kesikli anaerobik reaktöre beslenerek 35 °C de 15 hafta boyunca anaerobik metan üretimi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ozonla önışlem yapılan çalışmada metan üretiminde, 187 mL CH<sub>4</sub>/gKOİ<sub>beslenen</sub>'den, 215 mL CH<sub>4</sub>/gKOİ<sub>beslenen</sub>'e, % 15'lik bir artış sağlanarak ozonlama ile polifenolik bileşiklerin anaerobik sistemdeki toksik etkilerinin azaltılabileceği belirtilmiştir [30].

Peynir üretim tesisi, tavuk üretim çiftliği ve zeytin yağı üretim tesislerinden çıkan atıksular 50 L'lik serum şişelerinde, 35 °C'de ve 14 gün SRT' de sırasıyla 70, 70 ve 45 gün süreyle kesikli anaerobik arıtımı ve biyokimyasal metan potansiyeli araştırılmıştır. Çalışma sonucunda peynir üretim tesisi atık suyundan 23.4 LCH<sub>4</sub>/L<sub>atıksu</sub>, tavuk üretim çiftliği atık suyundan 33.5 LCH<sub>4</sub>/L<sub>atıksu</sub> ve zeytin yağı üretim tesisi atık suyunun metan üretim veriminin 57.5 LCH<sub>4</sub>/L<sub>atıksu</sub> olduğu saptanmıştır. Çalışmada ayrıca atıksulardan üretilen biyogazın metan içerikleri de sırasıyla % 77, % 78 ve % 77 olarak belirlenmiş ve Türkiye'de tarımsal endüstrilerin atıksularının anaerobik işlem ile üretilen metandan önemli ölçüde enerji sağlanabileceği belirtilmiştir [31].

Et üretim tesisi (mezbahane) atıksuyunun (pH=6.3-6.6, 4 gKOİ/L, 850-6300 mgAKM/L ve 1.8 gBOİ/L), 7.2 L kapasiteli UASB reaktörde 35 °C'de 80 günlük alıkonma süresinde anaerobik metan üretim verimi araştırılmıştır. Reaktör 80 günlük alıkonma süresinde, ortalama 3.5-6.5 kgKOİ/m<sup>3</sup>d organik yükleme ile ilk 28 gün 22 saat, 28-52 günler arası 18 saat ve 52-80 günler arasında 14 saat HRT (Hidrolik alıkonma süresi) olmak üzere üç aşamada çalıştırılmıştır. Çalışma sonucunda % 95

BOİ, % 77-91 KOİ, % 81-86 AKM giderimi sağlamış, metan üretim hızının ortalama 11 Lbiyogaz/d, (0.44 Lbiyogaz/kgKOİ<sub>giderilen</sub>) ile metan üretim veriminin 0.51 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgKOİ<sub>giderilen</sub> olduğu saptanmıştır. Çalışmada UASB reaktörlerin mezbahane atıksularının arıtımında kullanılabileceği belirtilmiştir [32].

% 10 katı madde olacak şekilde sulandırılan zeytin posasının, 1 L'lik kesikli reaktörde, 37 °C'de ve 20 gün HRT'de anaerobik arıtımı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda maksimum biyogaz üretim hızının (% 75-80 CH<sub>4</sub>) 0.7 Lbiyogaz/L<sub>reaktör.d</sub> ve üretim veriminin 0.08 Lbiyogaz/g KOİ<sub>eklenen</sub> olduğu bulunmuştur [33].

Şeker pancarı posasına, (150-180 gTKM/kg, %90-95 UKM, 180-200 gKOİ/L ve pH=3.9-4.0), hidroliz ve asit oluşum olmak üzere iki aşamalı anaerobik işlem uygulanmıştır. İlk aşamada, sulu karışım hidroliz ve asit oluşum için 200 saat bekletilmiştir. Hidroliz ve asit oluşum aşamasından geçirilen numuneler, 1.0 m<sup>3</sup> kapasiteli, 35 °C sıcaklıktaki metan reaktörüne konulmuş ve 67 gün boyunca anaerobik işlemi incelenmiştir. Çalışma sonucunda metan üretim veriminin 0.36m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg<sub>kuruposa</sub> ve reaktör çıkışında çamur üretim veriminin 0.094 g<sub>çamur</sub>/gKOİ<sub>eklenen</sub> olduğu rapor edilmiştir [34].

Şeker pancarı posası (% 90 KM, %90 UKM ve 1 295 gKOİ/g<sub>kuruposa</sub>), 5.3 m<sup>3</sup>'lük hidroliz ve asit oluşum ve 3.5 m<sup>3</sup>'lük metan reaktörlerden oluşan iki aşamalı anaerobik sistemde işlenmiştir. Asit reaktörü 20 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik yükleme hızı, 4 gün HRT, pH=4.0-4.4 arasında, 37 °C de ve reaktörde maksimum % 6-7 TKM olacak şekilde, metan reaktörü ise fermantasyonun dördüncü gününden itibaren, 3 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d'den 21 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d'e kadar artan organik yükleme hızları ile 3.9-27gün HRT aralığında, 37 °C'de ve pH=7.0 da çalıştırılmıştır. Çalışma sonunda metan içeriğinin % 60-70 arasında değiştiği, biyogaz üretim veriminin ortalama 0.391 m<sup>3</sup>biyogaz/kg<sub>kuruposa</sub> olduğu ve şeker pancarı posası % 91.5 oranında parçalanarak biyogaza dönüştüğü saptanmıştır. Çalışmada ayrıca günde 2 Gg şeker pancarı işleyen bir işletmenin enerji gereksiniminin % 30.4'ünün anaerobik işlem ile üretilen metandan karşılanabileceği belirtilmiştir [35].

Zeytinyağı üretim tesisi katı atıklarına (1 675 mgKOİ/L) ve atıksuyuna (pH=4.83, 138 250 mgKOİ/L, 42 833 mgAKM/L ve 42 633 mgUKM/L), ayrı ayrı ve birbiri ile belli oranlarda karıştırılarak, kesikli anaerobik reaktörlerde anaerobik işlem uygulanmıştır. Çalışma sonucunda zeytin değirmeni atıksuyunun tek başına

artımından % 85.4-93.4 verimle, 57.1 Lbiyogaz/L<sub>atıksu</sub> biyogaz üretim verimi sağlanmıştır. Çalışmada ayrıca zeytinyağı üretim tesisi katı atıkların tek başına anaerobik işlemle metan üretim verimi açısından verimli olmadığı, maksimum metan üretim veriminin (135.4 mLCH<sub>4</sub>/g katı atık ) ise 1 g katı atığın 20 mL atıksu ile karıştırılması ile sağlandığı belirtilmiştir [36].

İpek endüstrisi atıklarının (ipekböceği atıkları) 1 L'lik anaerobik reaktörde, farklı organik besleme hızlarında anaerobik artımı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda 1 kg TKM/m<sup>3</sup>.d organik besleme hızında ve 30 günlük HRT'de maksimum biyogaz üretim veriminin 0.53 m<sup>3</sup>biyogaz/kgUKM<sub>eklenen</sub> ve metan üretim veriminin 0.38 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgUKM<sub>eklenen</sub> olduğu saptanmıştır. Üretilen biyogazın ortalama metan içeriğinin ise % 70 olduğu belirlenmiştir [37].

Tütün atıklarından, 10 m<sup>3</sup>'lük anaerobik reaktörde, 15 günlük HRT'de ve çeşitli ortam sıcaklıklarında biyogaz ve metan üretimi araştırılmıştır. Çalışma sonunda sıcaklık değişimlerine bağlı olarak, % 60 metan içeren biyogazın üretim hızının 169-282 L.Biyogaz/kgTKM<sub>eklenen</sub>.d. olduğu bulunmuştur. Çalışmada, Nikotin, KOİ ve BOİ giderimi sırasıyla % 75, % 60 ve % 80, artırılmış karışımın pH ve uçucu yağ asidi (UYA) içeriği ise 6.8 ve 599 mg/L olarak belirlenmiştir [38].

### 2.1.3.3. Hayvan atıkları

İnek gübresine, % 20-50 arasındaki oranlarda meyve-sebze atıkları ile tavuk gübresi karıştırılarak, anaerobik işlem ile metan üretim hızı, uçucu madde giderimi ve metan üretim verimleri incelenerek en uygun karışımın belirlenmesi araştırılmıştır. Deneyler 18 L'lik CSTR reaktörde, 21 günlük alıkonma süresinde ve 35 °C'de yapılmıştır. Çalışmalar her karışım için 3.19-5.01 kgUKM/m<sup>3</sup>.d arasında değişen organik yükleme hızlarında yürütülmüştür. Çalışmada; inek gübresine meyve-sebze atıklarının karıştırılmasının, metan üretiminde tavuk gübresi karıştırılmasından daha verimli olduğu, inek gübresine eklenen meyve-sebze atıklarının oranının artırılması ile metan üretim veriminin 0.23 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgUKM<sub>eklenen</sub>'den 0.45 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgUKM<sub>eklenen</sub>'e yükseldiği belirtilmiştir. İnek gübresine tavuk gübresinin karıştırılması ile reaktördeki serbest amonyak derişiminin

artmasıyla bakteriyel faaliyetin durduğu, metan üretim verimi ve uçucu madde giderim veriminin düştüğü belirlenmiştir [39].

Koyun ve keçi gübrelerinin ayrı ayrı zeytin posası ile 100:0, 80:20, 60:40 ve 40:60 kütle oranlarında karışımlarının, 30 °C'de 40 günlük anaerobik işlem ile gübre türü ve gübrelere karıştırılan zeytin posası kütle oranının biyogaz verimine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada biyogaz üretiminde koyun gübresinin tek başına kullanımının, keçi gübresinin tek başına kullanımından daha verimli olduğu ve her iki gübre için karıştırılan zeytin posası kütle oranındaki artışla biyogaz üretiminin azaldığı belirlenmiştir. 40 günlük anaerobik işlem sonucunda en fazla biyogaz üretim verimi (62 Lbiyogaz/kg UKM) ve UKM giderim veriminin (% 58.2) koyun gübresinin tek başına kullanımı ile elde edildiği ve koyun gübresinin ısı değeri 15.36 MJ/kgKM olarak belirlendiği rapor edilmiştir [40].

Domuz üretim çiftliği atıksuyunun (1.9-2.0 gKOİ/L, 1 051-1 184 mgTKM/L), hacimce % 86 plastik çakıl halkalarla doldurulmuş 2 L'lik anaerobik reaktörde, 35 °C'de ve 5 ile 10 günlük HRT'de anaerobik metan üretimi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda 10 günlük HRT'de % 65 KOİ, % 69 TKM ve % 70 UKM giderimi ile 0.23 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg KOİ<sub>giderilen</sub> metan üretilmiştir. 5 günlük HRT'de ise %55 KOİ, % 57 TKM ve % 60 UKM giderimi sağlanarak 0.24 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kgKOİ<sub>giderilen</sub> metan üretilmiştir. Çalışmada organik madde parçalanma veriminin yüksek HRT'de, metan üretim veriminin ise düşük HRT'de yüksek olduğu belirtilmiştir [41].

Taze tavuk gübresi santrifüjlenmiş, sulu kısmına (80 gKOİ/L), 4 L'lik UBF reaktörde ve 35°C'de anaerobik işlem uygulanmıştır. UBF reaktör, UASB reaktöre yumuşak plastik liflerden dolgu eklenerek oluşturulmuştur. Deneyle 17 ve 41 günlük iki fazlı başlangıç ve 19 günlük yatışkın durum bölümlerinden oluşan toplam 77 günlük anaerobik işlem süresinde yapılmıştır. İlk başlangıç fazında 2.97 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik besleme hızı ile 10.04 saat HRT' de % 76.85 KOİ giderimi ve ortalama 173.93 Lbiyogaz/kgKOİ<sub>giderilen</sub> verimle biyogaz üretilmiştir. İkinci başlangıç fazında ise 11.69 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik besleme hızı ile 16.45 saat HRT'de % 82.47 KOİ giderimi ve ortalama 395.3 Lbiyogaz/kgKOİ<sub>giderilen</sub> biyogaz üretilmiştir. Anaerobik çalışmanın 58. gününden sonra ise 28.85 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik besleme hızı ile 18.73 saat HRT'de % 80.03 KOİ giderimi ve ortalama 437.34 Lbiyogaz/kgKOİ<sub>giderilen</sub> verimle biyogaz üretilmiştir. Çalışma sonucunda ayrıca UBF



reaktörün, anaerobik metan üretiminde reaktör performansını etkileyen parametreleri elimine ettiği, değişik tipte filtreler kullanılarak performansın arttırılabileceği belirtilmiştir [42].

1 ve 2 gün oda sıcaklığında (18-20 °C) aerobik mikrobiyolojik asit oluşum aşamasından geçirilen tavuk gübresinin sulu kısmına (10.5-20.0 gKOİ/L, 8.9-15.8 gTKM/L, 8.1-14.7 gUKM/L ve pH=6.2-7.1), 35 °C'de, iki adet paralel 26 L'lik UASB reaktör ile anaerobik işlem uygulanmıştır. Reaktörler, organik besleme hızları 1-11 gKOİ/L.d aralığında artırılarak ve 1-2 gün HRT ile çalıştırılmıştır. Çalışma sonunda maksimum biyogaz üretim hızının 11 gKOİ/L.d organik besleme ile (%79-81 CH<sub>4</sub>) 3.5-3.6 Lbiyogaz/L<sub>reaktör</sub>.d olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca %70-75 KOİ giderimi sağlanarak, tavuk gübresinden anaerobik metan üretiminde tavuk gübresinin sulu kısmının kullanılmasının daha iyi bir verim sağladığı ve UASB reaktörlerin bu tür atıklardan metan üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir [43].

Taze tavuk gübresinin, tek başına ve 6 ay çukurda bekletilmiş tavuk gübresi ve anaerobik arıtım çamuru ile farklı oranlarda karıştırılarak, 35 °C'de, 160 mL'lik şişelerinde, 119 günlük alıkonma süresinde, farklı katı madde derişimlerinde (% 5-27 katı madde) metan üretim verimi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, taze tavuk gübresinin tek başına anaerobik işleminde, maksimum metan üretim veriminin (548 mLCH<sub>4</sub>/gUKM<sub>giderilen</sub>) kütlece % 5 katı madde olacak şekilde sulandırılan gübreden elde edildiği rapor edilmiştir. Taze tavuk gübresinin, 6 ay bekletilmiş gübre ile karıştırılması ile metan üretim veriminin düştüğü belirlenmiş, anaerobik arıtma çamuru ile, kütlece % 10.3 katı madde olacak şekilde ve % 40 taze gübre, % 60 anaerobik arıtma çamuru olacak şekilde karıştırılmasının en uygun karışım olduğu belirtilmiştir. Çalışmada bu karışımla, 473 mLCH<sub>4</sub>/gUKM<sub>giderilen</sub> metan verimi olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada ayrıca kullanılan gübrenin seyreltilmesinin reaktör performansını etkileyen en önemli faktör olduğu, organik yükleme hızındaki artışın organik maddelerin metana dönüşümünü düşürdüğü ve 250 mgNH<sub>3</sub>/L ve üzeri derişimlerde amonyanın metan üretimini durdurduğu belirtilmiştir [44].

Tavuk ve domuz gübresi karıştırılarak anaerobik işlem ile 200 mL biyogaz/gUKM<sub>giderilen</sub> ve bu biyogazdan metan üretim veriminin 130 mL metan/g UKM<sub>giderilen</sub> olduğu rapor edilmektedir [45].

Tavuk çiftliği atıksuyunun (978 mgKOİ/L, 745 mgBOİ/L, 0.85 gAKM/L ve pH= 6.5), 3.5 L'lik UASB reaktörde, 30 °C'de ve 95 günlük alıkonma süresinde anaerobik arıtılabilirliği ve metan üretimi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda maksimum KOİ gideriminin; 2.9 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik besleme hızı ve 13.2 saat HRT'de, % 78, ortalama biyogaz üretim hızının ise 1.44 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik besleme hızında % 57 CH<sub>4</sub> içeriği ile 0.26 m<sup>3</sup>biyogaz/m<sup>3</sup>.d olduğu belirlenmiştir [46].

Ankara Araştırma Enstitüsü'nde 1984-1986 yılları arasında yapılan çalışmada, 1 m<sup>3</sup> kapasiteli reaktörde 30 °C'de, % 25 TKM ve % 65 UKM içeren tavuk gübresinden, 1 kg/gün besleme hızı ile biyogaz üretim veriminin 99.6 Lbiyogaz/kggübre ve 097.7 Lbiyogaz/m<sup>3</sup> reaktör olduğu rapor edilmiştir [47].

#### 2.1.3.4. Evsel atıklar

Mekanik olarak ayrılmış evsel katı atığın sulu kısmının (pH=4.2 ve 235 gKOİ/L), 200 L'lik CSTR reaktör ve 50 L'lik UFAF ile iki aşamalı anaerobik arıtımı araştırılmıştır. CSTR reaktör, 40 °C'de 5 ay boyunca 9.8 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik yükleme hızı ile çalıştırılmış ve 24 saat HRT'de % 68 KOİ giderimi ve % 47 metan içeren 1 105 Lbiyogaz/kgUKM<sub>giderilen</sub> (40 m<sup>3</sup>biyogaz/m<sup>3</sup> reaktör.d) biyogaz üretim verimi sağlanmıştır. İkinci aşamada ise CSTR çıkış suyu UFAF reaktöre verilerek biyogaz üretim verimin artırılması araştırılmış ve UFAF reaktörde, 6 gün HRT'de %38 KOİ giderimi ve % 61 metan içeren 504 Lbiyogaz/kgUKM<sub>giderilen</sub> (1.8 m<sup>3</sup>biyogaz/m<sup>3</sup> reaktör.d) biyogaz üretilmiştir. Böylece iki aşamalı anaerobik sistemde toplam % 80 KOİ giderimi sağlanmış ve sistemden çıkan atıkların kokusuz ve kompost işlemine uygun nitelikte olduğu belirtilmiştir [48].

Kore'de yapılan çalışmada, kütlece % 15-30 toplam katı madde içeren katı atık (karışık yemek atığı) ile bu atığın bileşenlerinin (pişmiş et, kaynamış pirinç, taze lahana ve kontrol olarak selüloz) biyokimyasal metan üretim verimleri ve stokiyometrik parçalanabilirlikleri araştırılmıştır. Çalışmada, biyokimyasal metan üretim verimlerinin, pişmiş et, selüloz, kaynamış pirinç, taze lahana ve karışık yemek atıkları için sırasıyla 482, 356, 294, 277 ve 472 mLCH<sub>4</sub>/gUKM<sub>eklenen</sub> olduğu belirlenmiştir. Bu atıklardan saptanan metan üretim verimleri ile maddelerin

elementel analizlerinden, metan oluşum tepkimesinden teorik olarak hesaplanan metan üretim verimleri karşılaştırıldığında, teorik olarak hesaplanan metan üretim verimlerinin, pişmiş et, selüloz, kaynamış pirinç, taze lahana ve karışık yemek atıkları için sırasıyla %82, %92, %72, %73 ve %86'sının deneysel olarak üretilebileceği saptanmıştır [49].

Evsel atıksuyun (3 000 mgKOİ/L), 21.5 L'lik UASB reaktörde, 11 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik besleme hızı ve 4.7 saat HRT'de 178 gün süreyle anaerobik işlemi araştırılmıştır. Reaktör, 178 günlük fermantasyon süresince, 57 gün 25 °C'de, 36 gün 22 °C'de, 31 gün 19 °C'de, 29 gün 16°C'de ve son 25 gün 13 °C'de çalıştırılmıştır. Çalışma sonucunda sıcaklığın düşürülmesi ile KOİ gideriminin % 70'den % 64'e, biyogazın metan içeriğinin ise % 60'dan % 35'e düştüğü bulunmuştur. Üretilen metanın, giderilen KOİ' ye oranı ise 25 °C' de 0.26 LCH<sub>4</sub>/gKOİ iken 13 °C' de 0.16 L CH<sub>4</sub>/gKOİ'ye düşmüştür. Çalışmada, evsel atıksuyun düşük sıcaklıklarda anaerobik arıtımının biyogaz üretim verimi açısından verimli olmadığı belirtilmiştir [50].

#### 2.1.4. Biyogaz Bileşenlerinin Özellikleri

##### 2.1.4.1. Metan (CH<sub>4</sub>)

Metan; oda sıcaklığında gaz halde, renksiz, kokusuz, havadan hafif, suda çözünmeyip eter ve alkolde çözünen, doğalgaz olarak bilinen gazın temel bileşeni olan yanıcı bir gazdır. Metan  $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$  eksotermik reaksiyonu ile yanarak, STP' de 1 m<sup>3</sup> metan 37.3 MJ ısı enerjisi vermektedir. Metanın bazı özellikleri **Çizelge 2.2.**'de verilmektedir.

##### 2.1.4.2. Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>)

Karbondioksit oda sıcaklığında ve açık hava basıncında (0.1 MPa) gaz halde, havadan hafif, suda çözünerek karbonik asit H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> oluşturan renksiz bir gazdır. Karbondioksitin bazı özellikleri **Çizelge 2.3.**'de verilmiştir.

**Çizelge 2.2. Metanın Bazı Özellikleri [51].**

Özellik	Birim	Değer
Mol kütlesi	g/mol	16.0
Ergime sıcaklığı	°C	-182.5
Normal Kaynama sıcaklığı (0.1 MPa)	°C	-161.4
Kritik sıcaklık	°C	-82.4
Kritik basınç	MPa	4.58

**Çizelge 2.3. Karbondioksitin Bazı Özellikleri [51].**

Özellik	Birim	Değer
Mol Kütlesi	g/mol	44.01
Sıvı Halde Yoğunluğu (-16.7 °C'de)	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	1,014
Gaz Halde Yoğunluğu (21.1 °C'de)	kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	1.833
Ergime Sıcaklığı	°C	-57.5
Normal Kaynama Sıcaklığı (0.1 MPa)	°C	-78.4
Kritik Sıcaklık	°C	31.1
Kritik Basınç	MPa	7.30
Sudaki Çözünürlüğü (20 °C'de)	vol/vol	0.9
Buharlaşma Isısı (0°C'de)	kJ/kg	234.5

#### 2.1.4.3. Hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S)

Hidrojen sülfür; çürük yumurta kokusuna benzer kokuda, renksiz bir gazdır. H<sub>2</sub>S'in bazı özellikleri **Çizelge 2.4.**'de verilmiştir.

#### 2.1.4.4. Hidrojen (H<sub>2</sub>)

Renksiz,kokusuz,zehirsiz, boğucu, aşırı derecede yanıcı ve parlayıcı bir gazdır. Hava ile parlama derişimi (vol/vol) %4-%74.5'dir. Bilinen en hafif gazdır. Havanın yaklaşık % 0,07'si yoğunluğuna sahiptir. Hidroklorik asit, metanol ve metanol üretiminde ve roket yakıtı olarak kullanılmaktadır. Hidrojenin bazı özellikleri **Çizelge 2.5.**'de verilmiştir.

**Çizelge 2.4. Hidrojen Sülfürün Bazı Özellikleri [51].**

Özellik	Birim	Değer
Mol Kütle	g/mol	34.08
Gaz Halde Yoğunluğu (25 °C, 0.1 MPa)	gH <sub>2</sub> S/L	1.393
Ergime Sıcaklığı	°C	-85.5
Normal Kaynama Sıcaklığı (0.1 MPa)	°C	-60.7
Kritik Sıcaklık	°C	100.4
Kritik Basınç	MPa	8.89

**Çizelge 2.5. Hidrojenin Bazı Özellikleri [51].**

Özellik	Birim	Değer
Mol Kütle	g/mol	2.016
Gaz Halde Yoğunluğu (15 °C, 0.1 MPa)	gH <sub>2</sub> /L	84.0
Ergime Sıcaklığı	°C	-259.2
Normal Kaynama Sıcaklığı (0.1 MPa)	°C	-252.87
Kritik Sıcaklık	°C	-239.9
Kritik Basınç	MPa	1.283

#### 2.1.5. Biyogazdaki Metanın Saflaştırılması ve Kullanım Alanları

Biyogazın enerji kaynağı olarak kullanılması bileşimindeki metan ve karbon dioksitin içeriğine bağlıdır. Öyle ki biyogazın ısı değeri metanın yanmasından kaynaklanmakta, karbon dioksitin ısı değere bir katkısı olmadığı gibi yanma sonucu açığa çıkan enerjinin bir kısmı CO<sub>2</sub>'in ısı kapasitesine bağlı olarak CO<sub>2</sub>'in ısınma ısısı olarak kaybolmaktadır. % 99 CH<sub>4</sub> içeren biyogazın (doğalgaz) ısı değeri 37.3 MJ/m<sup>3</sup> (STP) iken % 65 CH<sub>4</sub> içeren biyogazın ısı değeri 24.0 MJ/m<sup>3</sup> olarak değişmektedir [13]. Bu özellikleri ile biyogaz metan içeriğine göre evlerde mutfak, aydınlatma, doğal gaz olarak ve araçlarda yakıt olarak kullanılabilir [7].

Biyogaz diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında ise (Çizelge 2.6.) yine temiz bir yakıt olduğu ve doğalgaz yakma sistemlerinde kullanılabilir olduğu anlaşılmaktadır.

Son yıllarda biyogazla ilgili çalışmalar, biyogazdan elde edilecek enerjinin artırılması ve değerlendirilmesi yönüne kaymaktadır. Bu amaçla biyogazdaki

CO<sub>2</sub>'nin giderilip biyogazın metan içeriğinin artırılması, böylece biyogazın çeşitli motorlarda yakıt olarak kullanılması gibi çalışmalar yapılmaktadır.

**Çizelge 2.6. Çeşitli Yakıtların Isıl Değerleri [13].**

Yakıt Türü	Üst Isıl Değeri	
	MJ/L	MJ/kg
Propan (STP)	25.5	50.2
Bütan (STP)	28.7	49.6
Gazolin	34.8	47.1
Dizel fuel	38.7	45.6
Fuel Oil (No:2)	39.0	43.2
Doğal gaz (% 99 CH <sub>4</sub> )	37.3*	52.0
Biyogaz (% 65 CH <sub>4</sub> )	24*	33.5
Kömür		
Bitümlü		32.6
Linyit		14.0
Odun		19.8
Elektrik	3.6 <sup>s</sup>	

\*MJ/m<sup>3</sup> ; <sup>s</sup> MJ/ kW

Dizel motorlarda biyogazın yakıldığı çalışmada biyogazın CO<sub>2</sub> içeriğinden dolayı diğer dizel yakıtlardan daha az yanma verimi sağladığı, biyogazdaki CO<sub>2</sub>'nin dizel motorların çalışma veriminde en önemli dezavantaj olduğu belirtilirken [18], bir başka çalışmada biyogazın yakıt hücreli güç tesislerinde kullanılabileceği ve böylece küçük yakıt hücreli güç tesisleri ile çiftlik tipi biyogaz üreteçlerinin elektrik enerjisinin sağlanabileceği belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca biyogazın CO<sub>2</sub> içeriğinin, metanın tamamının yanmasında pozitif bir etkisinin olduğu da belirtilmektedir [52].

Tek silindirli içten yanmalı motorda, doğalgazla %0-40 oranlarında CO<sub>2</sub> karıştırılarak gaz karışımı yakılmış ve doğalgazdaki CO<sub>2</sub> içeriğinin artması ile motor performansının, ısıl verimin, eksoz sıcaklığının ve motor gücünün azaldığı, çıkış gazındaki yanmamış hidrokarbonların (HC) ve azot oksitlerin (NO<sub>x</sub>) artışı belirlenmiştir [53].

Krater yatakta biyogazın yakılması çalışmasında ise hacimce % 7 CH<sub>4</sub> (% 93 CO<sub>2</sub>) içeren biyogazın bile krater yatakla kolaylıkla yakılabileceği belirlenmiştir [54].

Biyogazın yakılması ile ilgili çalışmalar sürdürülürken, diğer yandan biyogazın içeriğindeki CO<sub>2</sub>'nin; uzaklaştırılması için kimyasal ayırma, membran ayırma ve aktif karbon gibi çeşitli adsorbantlarla adsorblama gibi yöntemlerin de kullanıldığı da bilinmektedir [55].

Biyogazdaki CO<sub>2</sub>'in uzaklaştırılması ve biyogazdaki CH<sub>4</sub> derişiminin artırılarak ısıl değerinin yükseltilmesi amacıyla çalışmalar sürdürülmektedir.

Biyogazın metan içeriğinin artırılması amacıyla, % 62.6 CH<sub>4</sub> içeren biyogaz özdeş boşluklu elyaf modüllerden, farklı basınç ve akış hızlarında iki farklı deneyle geçirilmiştir. İlk deneyde biyogaz 2.4-2.8 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/s hacımsal akış hızı ve 3.6 MPa basınç ile, ikinci deneyde ise 1.7-1.9 10<sup>-4</sup> m<sup>3</sup>/s akış hızı ve 2.9 MPa basınçla elyaf modüllerden geçirilmiş ve biyogazın metan içeriği ilk deneyde % 92'ye, ikinci deneyde ise %95'e çıkarılmıştır. Membran arıtma ile biyogazın metan içeriği % 90'ın üzerine çıkarılabileceği ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir [56].

Gaz tutucu adsorban maddelerle yapılan çalışmalarda ise hindistan cevizi kabuğu gibi doğal materyaller [55] ve Tufo Giallo Napoletano (TGN) gibi asidik gazlara seçici adsorban maddeler kullanılarak biyogazdaki CO<sub>2</sub>'nin uzaklaştırılabileceği belirtilmektedir. TGN ile yapılan çalışmada, biyogaz TGN dolu adsorblama kulesinden 200 cm<sup>3</sup>/min hacımsal akış hızı ile 31 dakika ve 100 cm<sup>3</sup>/min akış hızı ile 75 dakika geçirilmiş ve deneylerde biyogazın metan içeriği sırasıyla % 89 ve % 98'e çıkarılmış ve biyogazdaki H<sub>2</sub>S tamamen giderilmiştir [57].

Biyogazdaki H<sub>2</sub>S in uzaklaştırılması ve çıkış suyu kalitesinin artırılması amacıyla UASB ve damlatmalı filtre ile atıksu arıtan tesiste, kafes örgülü sabit yataklı reaktör biyogaz arıtımı amacıyla kullanılmıştır. Reaktör, alttan UASB de üretilen biyogaz 0.14-0.39 m<sup>3</sup>/h akış hızıyla verilirken üstten de damlatmalı filtre çıkış suyu, 9.4-26 L/m<sup>2</sup>d hidrolik yükleme hızı ile verilerek çalıştırılmıştır. Damlatmalı filtre çıkış suyunun reaktöre püskürtülmesi ile reaktör yüzeyinde biyofilm oluşmuş ve metan üreten bakteriler tarafından çıkış suyundaki renk ve koku

oluşturan azot (N) ve fosforlu (P) bileşikler parçalanmıştır. Çalışma sonucunda, biyogazdaki H<sub>2</sub>S derişimi, 1 200-2 500 ppm'den 2 ppm'in altına düşürülmüştür [58].

### 2.1.6 Anaerobik İşlemleri Etkileyen Faktörler

Anaerobik sistemlerde sistem verimi, sistemde bulunan mikroorganizma derişimi ve sistemin işletim koşullarına bağlıdır. Sistemdeki mikroorganizmaların üremelerini etkileyen faktörler, sıcaklık, pH, besin elementleri ve sistemdeki toksik maddelerdir. Sistemin işletimi ile ilgili faktörler ise alıkonma süresi, kütlesele madde besleme hızı ve ortamdaki katı madde derişimidir. Mikroorganizmalar üzerinde etkili faktörlerin uygun koşulları, konularla ilgili yapılan çalışmalar ile kolaylıkla belirlenmekte ve uygulanmaktadır. Ancak anaerobik sistemlerin işletimi ile ilgili faktörler ise kullanılan hammaddeye göre değişmekte ve anaerobik işlem veriminin artırılmasında bu faktörlerin optimumlarının belirlenmesi daha önem kazanmaktadır. Anaerobik işlemleri etkileyen faktörler ve bunlarla ilgili yapılmış çalışmalar alt başlıklar halinde özetlenmiştir.

#### 2.1.6.1. Sıcaklık

Sıcaklık; biyolojik sistemlerde, mikroorganizmaların büyüme hızına, mikroorganizma üretim hızına ve substrat tüketim hızına etkili olduğundan anaerobik sistemlerde en önemli parametrelerden biridir.

Sıcaklığın asetatin metana dönüşümüne etkisinin araştırıldığı çalışmada 15-45 °C arasında değişik sıcaklıklarda yapılan deneylerde, alıştırma (log) fazı sonunda maksimum biyokütle derişiminin (100 mg/L), maksimum asetat dönüşüm hızının (0.08mmol asetat/mg<sub>kurukütle</sub>.d) ve dönüşen asetat kütlesi başına üretilen maksimum kuru mikroorganizma kütesinin (1.0-1.1 mg<sub>biyokütle</sub>/mol<sub>asetat</sub>), 35 °C'de gerçekleştiği rapor edilmiştir [59].

Sıcaklığın ve alıkonma süresinin organik maddelerin anaerobik fermentasyonuna etkisinin araştırıldığı çalışmada, uygulanan tüm alıkonma sürelerinde, 40 ve 60 °C sıcaklıklarda biyogaz üretim verimi ve KOİ giderim verimlerinin maksimum olduğu rapor edilmiştir. Ancak 60 °C'de yapılacak



çalışmaların ısıtma gereksiniminden dolayı ve 40 °C'den yüksek sıcaklıklarda üretilen biyogazdaki metan içeriğinin azalmasından dolayı, anaerobik işlemin 30-40 °C arasındaki sıcaklıklarda yapılmasının uygun olacağı belirtilmiştir [60].

Kağıt hamuru üretiminden çıkan atıksuyun anaerobik işleminde, sıcaklık değişimlerinin metan üretimine etkileri, birisi termofilik (55 °C), diğeri mezofilik (35 °C) iki adet UFAF reaktörde 488 günlük alıkonma süresinde araştırılmıştır. Reaktörler; 1.95 kgKOİ/m<sup>3</sup>.d organik besleme hızında ve sıcaklık değişimlerinin reaktör performansına etkilerinin anlaşılabilmesi için 448. günden sonra, mezofilik reaktörün sıcaklığı 448-458 günler arası oda sıcaklığına (18-24 °C) daha sonra 15 gün 35 °C'de, 476. günden sonra 5 gün 45 °C'de, 5 gün 55 °C'de ve son 12 gün tekrar 35 °C'de, termofilik reaktör ise 448-458 günler arası 45 °C'de, daha sonra 5 gün 35 °C'de, 5 gün 55 °C'de, 476-486 günler arası 65 °C'de, ve son 12 gün tekrar 55 °C'de çalıştırılmıştır. Çalışma sonucunda, reaktörlerde sıcaklık düşüşlerinde biyogaz üretim miktarlarında azalma, düşük KOİ giderimi, çıkışta yüksek AKM ve reaktörlerde UYA birikimi gözlenmiştir. Reaktörlerin sıcaklıkları optimum sıcaklığa getirildiğinde ise mikroorganizmaların birkaç günde tekrar ortama alıştıkları, termofilik mikroorganizmaların sıcaklık değişimlerine, mezofilik mikroorganizmalardan daha çabuk uyum sağladıkları belirtilmiştir.

Biyogaz üretim miktarının ise sıcaklık artış ve azalmalarında azaldığı, sıcaklığın tekrar optimum sıcaklıklara getirilmesi ile maksimuma ulaştığı belirtilmiştir [61].

Çalışmalardan ve verilerden de anlaşılacağı gibi anaerobik sistemlerle çalışılırken, maksimum biyogaz ve metan üretim verimi için sistemdeki mikroorganizmaların yaşaması için gerekli optimum sıcaklığın ayarlanması gerekmektedir. Bu optimum sıcaklık aralıkları ise mezofilik mikroorganizmalar için 30-40 °C, termofilik mikroorganizmalar için 55-60 °C'dir [62].

Anaerobik işlemlerde sistem sıcaklığı, kullanılacak hammadde ile yapılan deneylerden elde edilecek optimum koşullar göz önünde bulundurularak belirlenmeli, sistem bu koşullara göre oluşturulmalı ve sistemin söz konusu sıcaklığı ısı yalıtımı veya ısıtma ile korunmalıdır.

### 2.1.6.2. pH

pH, anaerobik sistemlerde, mikroorganizmaların yaşaması ve substratın suda çözünürlüğü üzerinde etkilidir. Ancak anaerobik sistemlerde birbirine bağlı, farklı türlerden mikroorganizmaların bulunmasından dolayı sistemi optimum bir pH aralığında tutmak gerekmektedir. Metan bakterileri için optimum pH aralığı 6.5-8.2'dir. Buna karşılık anaerobik sistemlerde baskın grup olan asit bakterileri 5.5-6.5 pH aralığında yaşamaktadırlar. Bundan dolayı, anaerobik sistemlerde pH her iki grubun yaşayabileceği optimum aralık olan 6.5-7.5 aralığında tutulmaktadır [15].

Arıtma çamurunun kararlı hale getirilmesi için uygulanan anaerobik işlemde, pH ve nem içeriğinin etkilerinin araştırıldığı çalışmada metan üretim veriminin (mL/gkurumadde. d), tüm nem içeriklerinde ve pH 7 de maksimum olduğu rapor edilmektedir [63].

Anaerobik sistemlerde, sistemin başlangıç pH'ı alıkonma süresinin 5 nci gününe kadar değişmemekte, 5 nci günden sonra sistemde oluşan organik asitlerden dolayı hızlı bir düşüş göstermektedir. Fermantasyonun 5 nci ile 17 nci günleri arasında pH'da küçük dalgalanmalar görülmektedir. Bunun nedeni, fermantasyonun 17 nci günden sonra organik asitlerin metana dönüşmesiyle pH'ın yükselmesi ve asit oluşumu ile pH'ın düşüşüdür. Sistemde metan üretiminin başlamasıyla, oluşan organik asitler sistemde beklemeden metana dönüşmekte ve pH bundan sonraki aşamada başlangıç pH'ına yaklaşmakta ve küçük dalgalanmalarla belirli pH aralığında sabit kalmaktadır [14].

### 2.1.6.3. Besin elementleri

Bütün biyolojik sistemlerde mikroorganizmaların üreme ve yaşamaları için gerekli temel besin elementleri (C, N, P, K) ve diğer iz elementlerin bulunması gerekmektedir.

Hayvansal atıklarda, besin maddeleri yeterli derişim ve uygun besin maddesi oranlarında bulunmaktadır. Ancak bazı tarımsal atıklarda (saman, ot, vb.) bu elementlerden bazıları yeterli miktarlarda bulunmamaktadır. Bundan dolayı anaerobik sistemlerde, besin element derişimleri kullanılan hammaddeye göre

ayarlanmalıdır [64]. Anaerobik mikroorganizmalar için gerekli besin elementleri Çizelge 2.7.'de verilen derişimlerde, C/P (karbon/fosfor) kütleli oranının 150/1, C/N (karbon/azot) kütleli oranının ise 15/1-45/1 arasında (optimum 30/1) olması gerekmektedir [16].

**Çizelge 2.7. Anaerobik Mikroorganizmalar İçin Gerekli Besin Elementleri [65]**

Kimyasal Madde	Derişim mg/L	Kimyasal Madde	Derişim mg/L
CH <sub>3</sub> COOH	2 700	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0.012
NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	3 450	AlK(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .12H <sub>2</sub> O	0.012
NaCl	140	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.012
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	69	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0.012
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	69	Pridoxin hidroklorit	0.023
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	69	Tiamin hidroklorit	0.012
NaHCO <sub>3</sub> (Tampon)	2 780	Riboflavin	0.012
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	32	Nikotiniik asit (Niasin)	0.012
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	18	Paraamino Benzoik asit	0.012
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	4.7	Lipoik asit	0.012
MnSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O	0.6	Biotin	0.005
N(CH <sub>2</sub> COOH)	1.7	Folik asit	0.005
CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0.12	Kristalin	0.001
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.12	Resazürin (Redox indk.)	1

#### 2.1.6.4. Kütleli organik madde besleme hızı

Kütleli organik madde besleme hızı, reaktöre birim zamanda verilen maddenin külesidir. Anaerobik çalışmalarda ise genellikle birim zamanda reaktöre verilen uçucu madde külesi olarak kullanılmaktadır. Reaktöre beslenen uçucu madde ise askıda katı madde ve suda çözülmüş madde olmak üzere iki şekilde bulunmaktadır.

Yüksek derişimde askıda organik maddenin reaktöre beslenmesi mühendislik açısından reaktör hacmini küçülteceğinden dolayı tercih edilmektedir. Ancak

hayvansal atıkların askıda katı madde derişiminin yüksek olmasından dolayı hayvansal atıkların anaerobik parçalanmasında sınırlayıcı bir parametre olmaktadır. Reaktördeki askıda katı maddenin yüksek oluşu, biyokimyasal tepkimelerin yavaş yürümesine, gaz üretim veriminin düşük olmasına ve reaktörde kırılmayan kabuk oluşumuna neden olmaktadır. Bu da reaktörün işletimini güçleştirmekte ve mekanik karıştırma gerektirmektedir. Reaktöre verilen uçucu maddenin suda çözülmüş şekilde bulunmaları ise hem aynı reaktör hacmine daha yüksek derişimde organik madde besleme olanağı ile daha fazla organik maddenin dönüşümünü sağlayacak, hemde uçucu organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından daha kolay ve çabuk parçalanacağından gaz üretim verimini artıracaktır. Yapılan çalışmalarda, askıda katı madde içeren atıkların suda çözülmüş yapıya dönüştürülmesine ve olayların biyogaz üretim verimine etkisinin hangi yönde olduğunun saptanmasına çalışılmıştır. Konuyla ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Burada bazı çalışmalara yer verilmiştir.

Domuz gübresinin anaerobik arıtımında organik yükleme hızının, organik madde giderimi ve metan üretimine etkileri, 4 adet 20 L'lik akışkan yataklı reaktörde araştırılmıştır. Reaktörlere destek malzemesi olarak 4 kg (7 L) granül aktif karbon doldurulmuştur. Reaktörler, 0.24-9.11 gBOİ/L ve 0.78-10.40 gKOİ/L aralıklarındaki BOİ ve KOİ derişimlerinde ve sırasıyla 10, 20, 30 ve 40 mL/min besleme hızlarında ve 35 °C'de çalıştırılmıştır. Çalışma sonunda metan üretim veriminin organik yükleme hızı artıkça arttığı ancak üretilen biyogazın metan içeriğinin azaldığı belirlenmiştir. Organik yükleme hızının artırılmasıyla üretilen metan miktarın, teorik olarak hesaplanan metan miktarının % 43'ünden, % 71'ine çıktığı, 4 gKOİ/L.d'den yüksek organik yükleme hızlarında biyogazın metan içeriğinin % 70'in altına düştüğü, maksimum BOİ gideriminin (% 60), en yüksek yükleme hızında (10.4 gKOİ/L.d) ve maksimum KOİ gideriminin (% 60) ise 2 gKOİ/L.d organik yükleme hızında sağlandığı belirtilmiştir [66].

Domuz gübresinin farklı UKM ve organik katı besleme hızlarında anaerobik işleminde, organik besleme hızında (kgKOİ/m<sup>3</sup>d) artış ile KOİ'nin metana dönüşümünün azaldığı, UKM besleme hızındaki artış ile metan üretim hızının (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/m<sup>3</sup>.d) arttığı ancak metan üretim veriminin (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg UKM<sub>eklenen</sub>) azaldığı belirtilmektedir [67].

Buradan da anlaşılacağı gibi anaerobik işlemlerde UKM besleme hızları oranları, kullanılan hammaddenin değişik UKM ve KOİ derişimlerinde çalışmalar yapılarak üretilen maksimum biyogaz verimine göre belirlenmelidir.

#### 2.1.6.5. Toksik maddeler

Anaerobik proseslerde, işlem verimini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de sistemdeki mikroorganizmaların üreme ve yaşamasını (özellikle de metan bakterilerinin üremesini) engelleyen toksik maddeler ve derişimleridir. Anaerobik işlemlerde toksik etki gösteren maddeler inorganik alkali, toprak alkali, ağır metal, amonyum azotu ve sülfürdür. Bu tür maddeler, kullanılan hammaddeden gelebildiği gibi reaktör içerisinde yürüyen biyokimyasal olaylardan da oluşabilmektedir. Aynı şekilde toksik olan bir madde çözülmüş formda ise bu madde zamanla toksik olmayan forma dönüşebilmektedir. Bazı maddelerin anaerobik proste, biyokimyasal olayları durdurucu derişimleri **Çizelge 2.8.**'de verilmiştir. Konuyla ilgili yapılmış bazı çalışmalar burada özetlenmiştir.

Tabakhane atıksularının (1.5 ile 16.5 gKOİ/L) yukarı akışlı anaerobik kontak filtre reaktörde anaerobik arıtımında tanin, sülfür ve krom(III)'ün reaktör performansı, KOİ giderimi ve biyogaz üretim verimine etkileri araştırılmıştır. Çalışma, 36, 48 ve 60 saatlik hidrolik alıkonma sürelerinde yürütülmüş ve çalışma sonunda taninin 914 mg/L ve üzerindeki derişimlerde reaktörde biyokimyasal olayları durdurduğu ve kütlece % 70 ve üzeri tanin derişiminin anaerobik mikrobiyal üremeyi durdurduğu belirlenmiştir. Sülfür ve krom(III)'ün ise sırasıyla 180 mg/L ve 140 mg/L derişimlerinin üzerinde toksik etki yaptığı belirlenmiştir [69].

Peyniraltı suyunun anaerobik sabit yataklı reaktörde anaerobik arıtımında bakır(II) klorür ( $\text{CuCl}_2$ ), çinko klorür ( $\text{ZnCl}_2$ ) ve nikel klorürün ( $\text{NiCl}_2$ ) toksik etkilerinin araştırıldığı çalışmada 10 mg $\text{CuCl}_2$ /L, 40 mg $\text{ZnCl}_2$ /L ve 60 mg $\text{NiCl}_2$ /L derişimlerde bu metal iyonlarının bulunması durumunda metan üretim veriminin % 50 azaldığı belirlenmiştir. Çalışmada, ayrıca, metal tuzları ile birlikte eşmolar sülfür eklenmesiyle metal katyonlarının metal sülfürler halinde çökmesi sonucu metal katyonlarının toksisitesini engellediği, sülfür iyonlarının ortamda bulunması halinde, 60 mg $\text{NiCl}_2$ /L'ye kadar  $\text{NiCl}_2$  derişiminin toksik etki göstermediği rapor edilmiştir [70].

Domuz gübresinin anaerobik fermantasyonunda fosfinin inhibisyon etkilerinin araştırıldığı çalışmada, logaritmik derişim-etki korelasyonunda 150 ppm fosfinin biyogaz üretimini % 50 azalttığı, asetat ve yeast extract ile yapılan çalışmalarda ise 1000 ppm'e kadar fosfin derişiminde biyolojik aktivitede düşüş olmadığı belirlenmiş ve gaz fosfinin özellikle hayvan gübrelerindeki maddelerin parçalanmasına yol açan mikroorganizmalar üzerine etkili olduğu rapor edilmiştir [71].

**Çizelge 2.8.** Bazı Maddelerin Anaerobik İşlemi Durdurucu Derişimleri [68].

Madde	Toksisite Derişimleri (mg/L)
$\text{NH}_4^+$ , $\text{NH}_3$	1 500-2 000
$\text{H}_2\text{S}$ , $\text{HS}^-$ , $\text{S}^{2-}$	100-150
$\text{Na}^+$	3 500-6 000
$\text{K}^+$	2 500-5 000
$\text{Ca}^+$	2 500-5 000
$\text{CN}^-$	0,5-1
Alkil benzen sülfonat	500-700
$\text{Mg}^{2+}$	1 000-1 500
$\text{Cr}^{3+}$	150-400
$\text{Cr}^{6+}$	3
$\text{Zn}^{2+}$	1
$\text{Ni}^{2+}$	2
$\text{Cu}^{2+}$	0.5
$\text{S}^{2-}$	200

#### 2.1.6.6. Alıkonma süresi

Maddenin alıkonma süresi, anaerobik sistemlerde uçucu organik maddelerin reaktörde kaldığı süredir. Uçucu madde alıkonma süresi ve hidrolük alıkonma süresi olmak üzere iki türlü kullanımı vardır. Uçucu madde alıkonma süresi sistemdeki mikroorganizmaların uçucu maddeyi dönüştürmek için kullandıkları süredir ve sistemdeki uçucu madde kütesinin, sistemden çıkan uçucu maddenin kütesel hızına oranıdır. SRT, anaerobik sistemlerde 2-6 gün arasında değişmektedir.

Hidrolik alıkonma süresi ise reaktör hacminin sisteme verilen maddenin hacımsal hızına oranıdır. Anaerobik sistemlerde geri dönüşüm olmadığında ve genellikle organik maddeler sulu çözeltiler yada sulu karışımlar halinde beslendiğinden SRT, HRT ye eşittir. Hem SRT hem de HRT organik maddelerin yeteri kadar parçalanması ve optimum gaz üretim veriminin sağlanmasına, bu da sıcaklığa bağlıdır. HRT, anaerobik sistemlerde sıcaklığa da bağlı olarak 10-31 gün arasında değişmektedir [64].

#### 2.1.6.7. Toplam katı ve suda çözünmüş maddeler

Toplam katı ve suda çözünmüş maddelerin anaerobik işlem verimine etkileri ve konuyla ilgili çalışmalar Bölüm 2.2.' de verilmiştir.

#### 2.1.7. Anaerobik Reaktörler

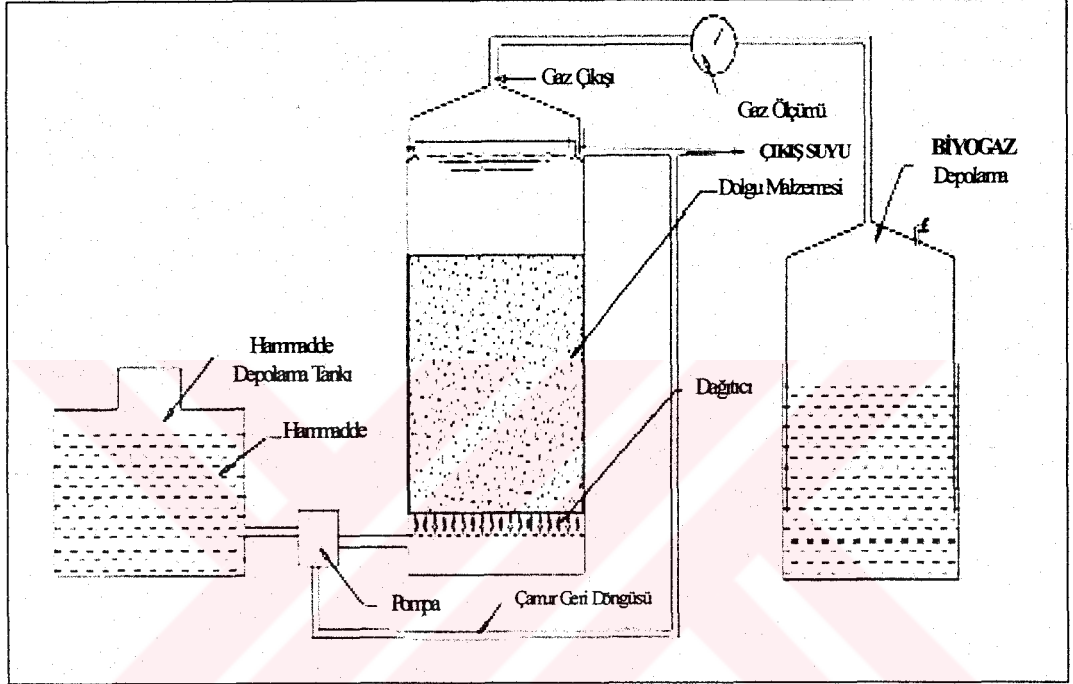
Anaerobik reaktörler, kesikli ve sürekli olmak üzere iki ana türde kullanılmaktadır. Kesikli reaktörlerin yapımı ve işletimi sürekli reaktörlere göre daha kolay ve basittir.

Kesikli reaktörlerde hammadde reaktöre doldurulur ve alıkonma süresince parçalanmış materyal alıkonma süresi sonunda boşaltılır ve reaktör yeni hammadde ile doldurulur. Kesikli reaktörler kullanılacak hammaddenin miktarına göre boyutlandırılmaktadır. Sürekli reaktörlerde ise organik maddeler reaktöre sürekli veya belli aralıklarla beslenmektedir. Organik madde mekanik olarak veya hammaddenin ağırlığı yardımı ile reaktöre beslenir. Biyolojik parçalanmaya uğramış ve geriye kalmış materyal, yeni hammadde beslendikçe reaktörden çıkmaktadır. Anaerobik işlemlerde sıkça kullanılan reaktörler alt başlıklar halinde verilmektedir.

##### 2.1.7.1 Sabit yataklı dolgulu reaktörler (FFR- Fixed Film Reactor)

Sabit yataklı dolgulu anaerobik reaktörlerde, reaktör, aktif karbon, PVC, çakıl veya seramik parçaları gibi mikroorganizmaların tutunabileceği dolgu malzemeleri ile doldurulmaktadır. Dolgu malzemesi mikroorganizmaların üreme ve gelişmesi için

geniş bir yüzey alanı oluşturmaktadır. Biyolojik parçalanacak maddeler suda çözülmüş formda, reaktöre alttan veya üstten dağıtıcılarla verilerek, reaktörden geçirilmekte ve böylece çözelti reaktörden geçerken organik maddeler dolgu malzemesinde tutunmuş mikroorganizmalar tarafından parçalanarak biyogaza dönüşmektedir.



Şekil 2.2. Sabit Yataklı Reaktör [72].

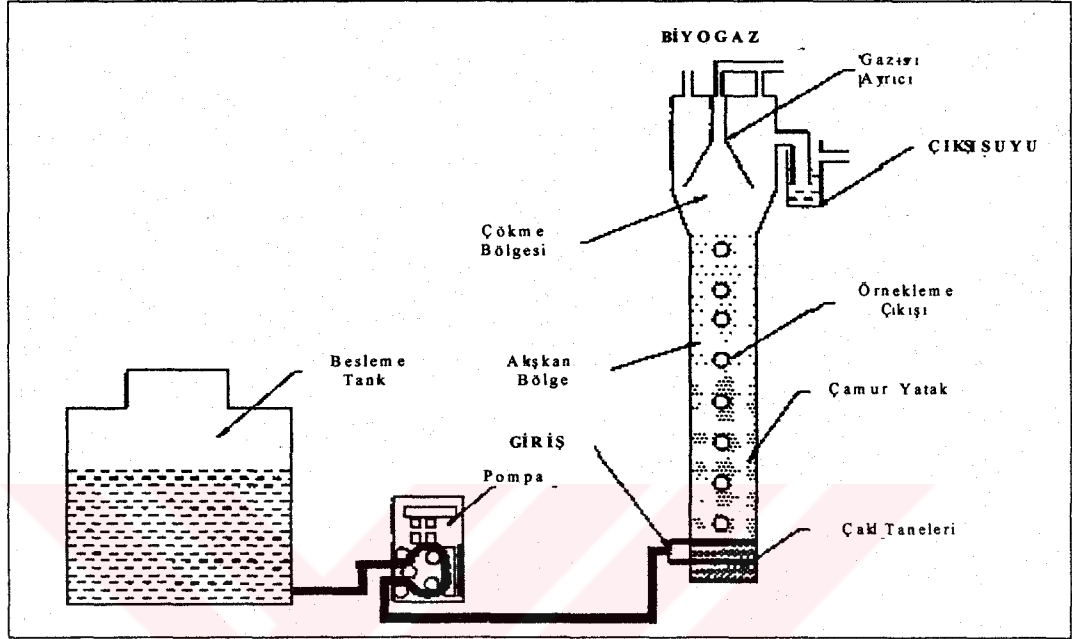
Sabit yataklı dolgulu reaktörler, karıştırma gereksiniminin olmaması, şok ve toksik beslemelere dayanıklılıkları ve yüksek besleme hızlarında çalıştırılabilmeleri gibi avantajlarının olmasına karşılık, dolgu malzemesinin reaktörde hacim kaplaması ve dolgu malzemesi üzerindeki film kalınlığının sürekli artması sonucu boşluk hacminin azalması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Şekil 2.2.'de sabit yataklı dolgulu anaerobik reaktör görülmektedir [72].

2.1.7.2 Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler (UASB- Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor)

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde sulu çözelti reaktöre alttan verilir. Sulu çözelti reaktör içerisinde yukarıya hareket ederken, sulu çözeltideki



organik maddeler mikroorganizmalar tarafından parçalanır. Reaktörde oluşan biyogaz ise gaz-sıvı ayırıcılarla ayrılarak, gaz ve arıtılmış atıksu sistemden alınır. Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör Şekil 2.3.'de görülmektedir.



Şekil 2.3. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yataklı Reaktör (UASB) [72].

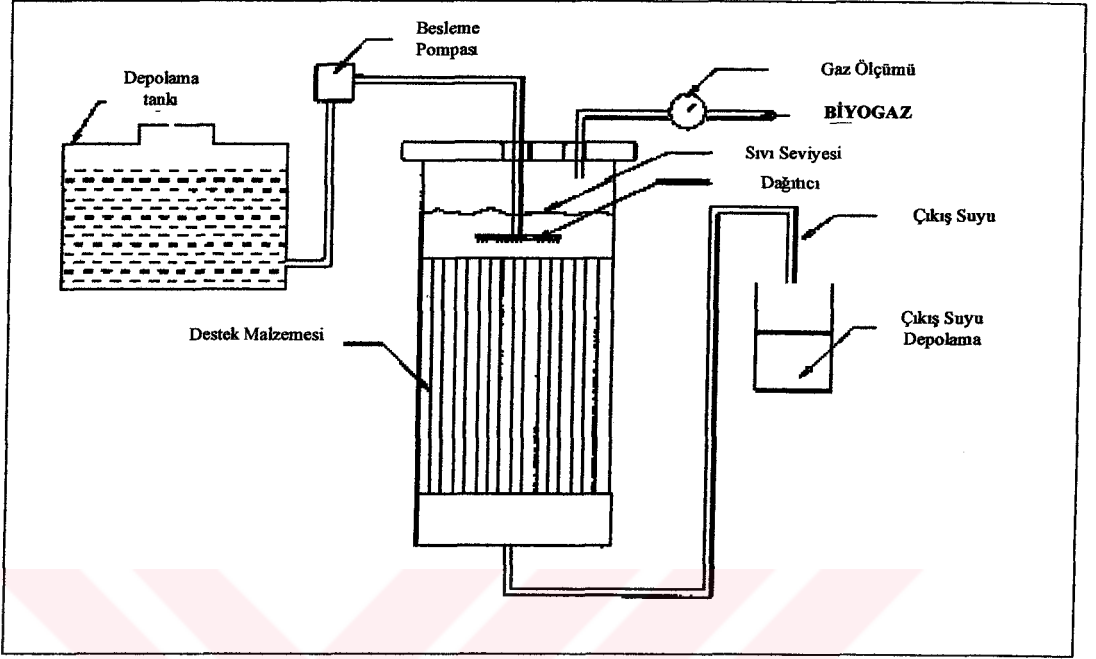
UASB reaktörler özellikle evsel ve endüstriyel atıksulardaki çözünmüş organik maddelerin arıtımında, çok kısa HRT'lerde ve yüksek bir arıtım verimi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür reaktörler yüksek organik madde yüklemelerine, şok toksik ve rekalsitran madde yüklerine diğer reaktörlerden daha dayanıklıdır.

### 2.1.7.3. Anaerobik akışkan yataklı reaktörler (AFB- Anaerobic Fluidized Bed Reactor)

Akışkan yataklı reaktörlerde küçük boyutlu kum ve aktif karbon gibi dolgu malzemeleri reaktöre beslenen atıksunun sürüklenme kuvveti tarafından hareket ettirilmekte ve mikroorganizmaların organik maddelerle daha fazla teması sağlanmaktadır.

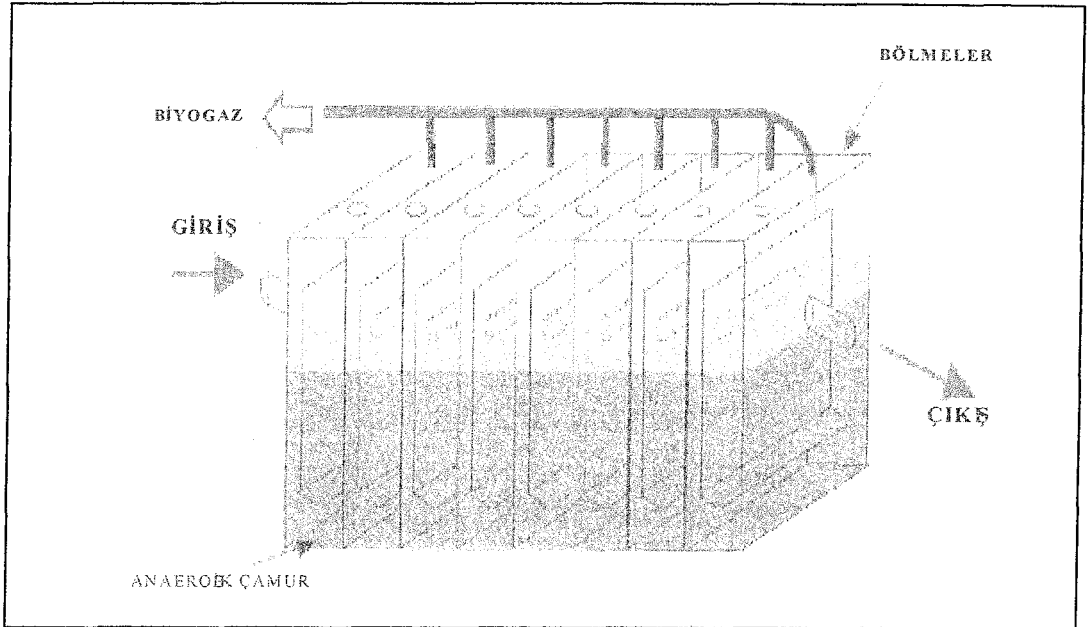
Bu reaktörler farklı özelliklerde atıksuların arıtımında verimli bir biçimde kullanılmaktadır. Son yıllarda reaktör dolgu maddesi olarak daha hafif iyon değiştirici reçineler, kaolin ve sepiolit gibi fırınlanmış kil ve delikli (gözenekli)

poliüretan gibi malzemelerde kullanılmaktadır [71]. Şekil. 2.4.'te anaerobik akışkan yataklı reaktör görülmektedir.



Şekil. 2.4. Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktör [72]

2.1.7.4. Anaerobik perdeli (şaşırtmalı) reaktörler (ABR-Anaerobic Baffled Reactor)



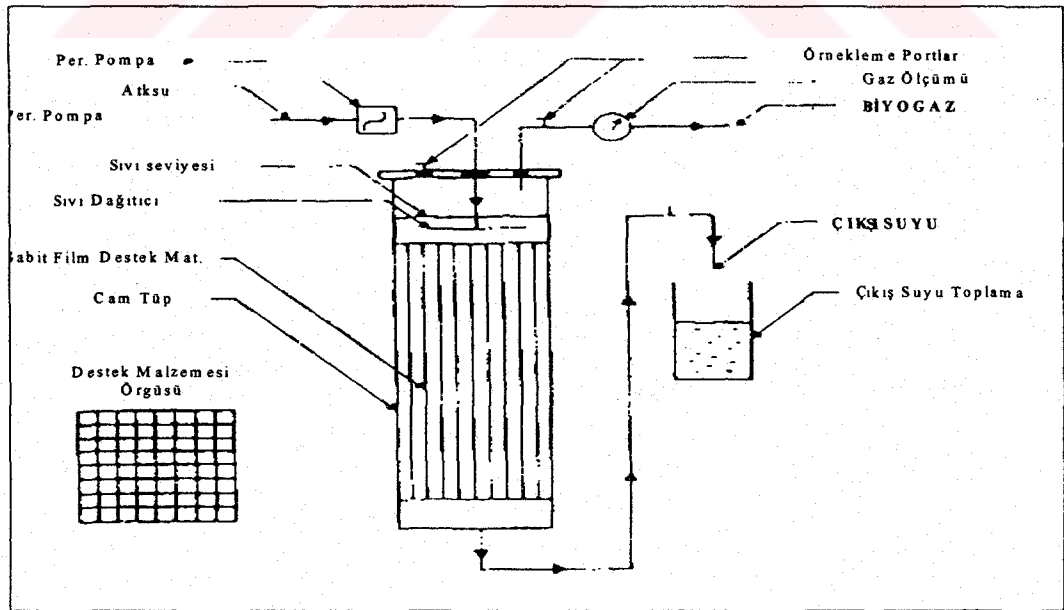
Şekil 2.5. Anaerobik Şaşırtmalı Reaktör [74].

Anaerobik şaşırtmalı reaktörlerde, reaktör içerisine yerleştirilen perdeler yardımıyla reaktöre verilen atıksuyun sistemde kalma süresi artmakta, böylece yüksek besleme hızlarında çalışma olanağı sağlanarak gerekli reaktör hacmi azaltılmaktadır.

Bu tip reaktörlerde, ayrıca, atıksuyun doğal karışımı da sağlanarak, mekanik karıştırma gereksinimi ortadan kaldırılmaktadır. Anaerobik şaşırtmalı reaktörler özellikle atıksu arıtımında verimli bir biçimde kullanılmaktadır [73]. Şekil. 2.5.'te anaerobik şaşırtmalı reaktör görülmektedir.

#### 2.1.7.5. Aşağı akışlı sabit yataklı dolgu film reaktör (DSFF-Downflow Stationary Fixed Film Reactor)

Bu reaktörlerde de sabit yataklı dolgu reaktörlerde olduğu gibi reaktöre mikroorganizmaların tutunabileceği çeşitli dolgu malzemeleri yerleştirilmektedir. Ancak bu reaktörlerin sabit yataklı reaktörlerden farkı, DSFF reaktörlerde reaktör boyunca yerleştirilmiş düşey kanallardan oluşan ve sabit olarak yerleştirilen destek malzemeleri kullanılmasıdır. Atıksu reaktöre üstten ve bir dağıtıcı yardımıyla verilmekte artılmış su ise reaktörün altından alınmaktadır.



Şekil 2.6. Aşağı Akışlı Sabit Yataklı Film Reaktör [76].

Bu tür reaktörler özellikle yüksek KOİ derişimine sahip konsantre endüstriyel atıksuların arıtımında verimli olmaktadır. Sabit yatak olarak, kil ve seramikten yapılmış plakaların reaktör içine paralel olarak yerleştirilmesinin verimli olduğu belirtilmektedir[75]. Şekil 2.6.'da aşağı akışlı sabit yataklı reaktör görülmektedir.

## 2.2. HAMMADDEYE UYGULANAN ÖNİŞLEMLER ve BİYOGAZ ÜRETİM VERİMİNE ETKİLERİ

Büyük molekül yapıdaki maddeler mikroorganizmalar tarafından daha zor ve uzun sürede parçalandığından, anaerobik sistemlerde sistem verimini sınırlayan basamak hidroliz basamağıdır. Bundan dolayı biyogaz üretim verimini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de reaktöre beslenen hammaddedeki katı madde oranı ve hammaddenin yapısı olmaktadır. Yapılan çalışmalardan anaerobik sistemlerde maksimum biyogaz üretim veriminin reaktöre verilen hammaddedeki katı maddenin kütlece %6 ile %10 arasında olduğunda gerçekleştiği ve metan üretim veriminin, katı madde oranı % 12'den fazla olması durumunda ise düştüğü görülmektedir [60,63].

Anaerobik sistemlerde verim artırıcı diğer bir önemli işlem ise hammaddenin suda çözülmüş forma dönüştürülerek reaktöre verilmesidir. Son yıllarda, anaerobik işlemlerle ilgili çalışmaların, biyogaz ve metan üretim verimlerinin artırılması yönüne olduğu görülmektedir. Bu amaçla; organik atıkların birbirleri ile karıştırılarak reaktörlere verilmesi, arıtımda iki aşamalı anaerobik sistemlerin kullanılması ve hammaddenin fiziksel, kimyasal, biyolojik ve termokimyasal önışlemler uygulanarak suda çözülmüş forma dönüştürülmesi gibi çalışmalar yapılmakta ve metan üretim verimi önemli ölçülerde arttırılmaktadır.

Anaerobik işlemlerde biyogaz üretim veriminin artırılması amacıyla hammaddeye uygulanan önışlemler alt başlıklar halinde özetlenmiştir.

### 2.2.1. Biyolojik Önışlemler ve Etkileri

Buğday samanı, çoğu beyaz çürükçül mantar olan 22 farklı mikroorganizma ile biyolojik işleme tabi tutularak, lignin, selüloz ve hemiselülozun parçalanması araştırılmıştır. Çalışmada ilk olarak lignini en hızlı ve verimli bir şekilde

parçalayabilen mikroorganizma türü belirlenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında lignini diğer mikroorganizma türlerinden daha hızlı parçalayan istiridye mantarı (*Pleurotus florida*) seçilmiş ve ikinci aşamada, buğday samanının *Pleurotus florida* ile 25 °C de, 30, 60 ve 90 günlük sürelerde parçalanması araştırılmıştır. Son aşamada ise *Pleurotus florida* ile önışleme tabi tutulan buğday samanlarına, inek gübresi ile 2:1 oranında karıştırılarak , 30 günlük alıkonma süresinde, 37 °C'de, pH 7.2'de, 1.5 L'lik karıştırmalı reaktörlerde ve reaktörde toplam 60 g katı madde olacak şekilde, anaerobik anaerobik işlem uygulanmıştır. Çalışma sonunda, maksimum biyogaz ve metan üretim verimi, 90 gün *Pleurotus florida* ile önışleme tabi tutulmuş buğday samanından elde edilmiştir. Çalışmada, metan içeriği % 68 olan 0.343 Lbiyogaz/gUKM biyogaz ve toplam 11.911 L metan üretildiği, biyolojik önışlemler ile buğday samanından biyogaz üretim veriminin arttığı belirtilmiştir [77].

Hayvan gübrelerindeki biyolojik olarak parçalanamayan organik maddelerin parçalanmasını sağlamak ve biyogaz üretim verimini artırmak amacıyla hayvan gübresindeki biyolifler, fiziksel (mekanik öğütme), kimyasal (NaOH ve NH<sub>4</sub>OH gibi bazlarla önışlem) ve biyokimyasal (hemiselülotik ve selülotik enzimler ve hemiselüloz parçalayan bakteriler ile önışlem) önışleme tabi tutularak, kesikli ve sürekli anaerobik reaktörlerde metan üretim verimi araştırılmıştır. Çalışma sonunda, 0.35 mm'nin altındaki boyutlarda öğütülmüş liflerin anaerobik fermentasyonu ile biyogaz üretim verimi, sürekli karıştırmalı reaktörde, % 17 ve kesikli reaktörde, % 20 artırılmıştır. Biyogaz ve metan üretim veriminde en fazla artış (%30) hemiselüloz parçalayan mikroorganizma ile biyolojik önışleme sağlanmıştır. Çalışma sonucunda ayrıca biyogaz üretim veriminin baz ile kimyasal önışlemlerde ve enzimlerle önışlemlerde de artış gösterdiği belirlenmiştir. Ancak biyolojik önışlemlerin fiziksel ve kimyasal önışlemlerden daha etkili olduğu belirtilmiştir [78].

Pirinç samanı, beyaz çürükçül mantar *Phanerochaete chrysosporium* ve kahverengi çürükçül mantar *Polyporus ostreiformis* ile önışleme tabi tutulmuş ve 21 günlük anaerobik işlem ile biyogaz üretim verimi araştırılmıştır. Anaerobil işlem sonunda biyogaz üretim veriminde, beyaz ve kahverengi çürükçül mantarlarla önışleme tabi tutulan samanda sırasıyla % 34.73 ve % 21.12, metan üretim veriminde ise % 46.19 ve 31.94 artış sağlanmıştır. KOİ giderimi ise önışlem yapılmamış

samanda % 26.00 iken beyaz ve kahverengi çürükçül mantarlarla önişlem yapılmış samanda sırasıyla % 59.01 ve % 55.55 olarak belirlenmiştir [79].

### 2.2.2. Kimyasal Önişlemler ve Etkileri

Ozonla önişlemin, evsel arıtma çamurunun biyolojik parçalanabilirliğine etkileri anaerobik, aerobik koşullarda araştırılmıştır. Çalışma sonucunda 5 günlük aerobik ve anaerobik şartlarda uygulanan işlemden, 0.1 gO<sub>3</sub>/gAKM ile ozonlanmış çamurun, ozonla işlem yapılmamış çamurdan 2-3 kat daha iyi biyolojik parçalanabilirlik gösterdiği belirlenmiştir. Ozon derişiminde daha fazla artışla, biyolojik parçalanabilirliğin artmadığı ve anaerobik şartlarda ozonla önişlem yapılmış çamurun, önişlem yapılmamış çamurdan % 36 daha iyi bir biyolojik parçalanma gösterdiği belirtilmiştir [80].

### 2.2.3. Fiziksel Önişlemler ve Etkileri

Lignin ve lignoselülozik maddelerce zengin evsel katı atık, buharla, basınçlı önişleme tabi tutularak, işlemin biyogaz ve metan üretim verimine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, evsel katı atık, ilk önce 240 °C'de 5 dakika basınç altında buhar ile ısıtılmış ve basınç aniden kaldırılıp liflerin yarılması sağlanmış, ardından 30 günlük ön fermantasyon ile lif ve elyaflar parçalanmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise önişlemden geçmiş katı atıklar, metan reaktörüne beslenmiş ve metan üretim verimi ile uçucu madde giderimi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, maddelerin önişlemden geçirilmesi ile metan üretim verimi ve uçucu madde gideriminde % 40'lık bir artış sağlanmıştır. Birinci ve ikinci fermantasyon ürünleri incelendiğinde, ikinci fermantasyon ile selüloz ve hemiselülozik bileşiklerde önemli bir azalma sağlandığı gözlenmiştir. Çalışmada ayrıca buhar basınçlı önişlem ile metan üretimindeki sağlanan artış ile sistemin enerji gereksiniminin karşılanabileceği belirtilmiştir [81].

Domuz gübresinin suda çözülmüş forma dönüştürülmesinde termal ve enzimatik önişlemlerin etkileri araştırılmıştır. Çalışma, domuz gübresi 3'er saatlik sürelerle, 80 °C'de termal ve 60 °C'de enzimle önişleme tabi tutulmuş ve termal

önişleme suda çözünlüğü, enzimatik önişleme göre önemli ölçüde daha fazla olduğu belirlenmiştir [82].

#### 2.2.4. Termokimyasal Önişlemler ve Etkileri

Kütlece %90 nem içeren yemek atıkları, 175 °C'de 1 saat termokimyasal önişlem uygulandıktan sonra katı ve sulu kısımları ayrılarak sulu kısmı seyreltilip UASB reaktörde anaerobik metan üretim verimi araştırılmıştır. Anaerobik parçalanma 35 °C'de, 82 gün boyunca ve 6.4-7.8 gTOK/L<sub>reaktör</sub>-d hacimsel besleme hızı aralıklarında artırılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda metan üretim veriminin 4.8-5.3 gTOK/L<sub>reaktör</sub>-d organik besleme hızında, 0.35-0.61 LCH<sub>4</sub>/gTOK<sub>giderilen</sub> olduğu ve TOK giderim veriminin ise % 67-69 olduğu belirlenmiştir [83].

Termokimyasal önişlemi sırasında, NaOH eklenmesinin mikrobiyal biyokütlerdeki KOİ'nin suda çözünlüğüne ve anaerobik parçalanabilirliğe etkileri araştırılmıştır. Çalışmada, NaOH eklenmesi ile hem suda çözünür KOİ'nin hem de toplam katı madde gideriminin arttığı saptanmıştır. 5 g Na/L eklendiğinde proteinlerin pH' a bağlı olarak hidrolizi ile KOİ'nin % 65'i suda çözünmüş ve toplam katı maddenin % 35'i ise suda çözünür forma dönüşmüştür. Daha fazla NaOH eklenmesi, KOİ suda çözünlüğünü artırmamıştır. Numunenin ısıtılması ile pH'ın, çözünlük üzerine etkilerinin olduğu görülmüştür. Numunedeki KOİ'nin suda çözünlüğü oda sıcaklığında, % 53.2 iken, 26 gNaOH/L eklenmesi ve 140 °C'de 30 dakika ısıtılması ile KOİ'nin suda çözünlüğü % 85'e çıkmıştır. Metan üretim veriminde 5 g Na<sup>+</sup>/L ile önişlem ile artış sağlanmıştır. Deneyler KOH, Mg(OH)<sub>2</sub> ve Ca(OH)<sub>2</sub> gibi alkali maddeler ile pH=12 olacak şekilde de tekrarlanmış ve KOİ'nin suda çözünlüğünün ve metan üretim veriminin bu deneylerde de arttığı belirtilmiştir [84].

Mikroorganizma ve besin elementleri içeren endüstriyel arıtma çamurunun (50.8 gKOİ<sub>Toplam</sub>/L, 6.4 gKOİ<sub>Çözünmüş</sub>/L, 39.1 gTKM/L, %95.4 UKM, pH=3.4) suda çözünlüğüne ve anaerobik parçalanabilirliğine pH, sıcaklık ve önişlem süresinin etkileri iki aşamada araştırılmıştır. İlk aşamada pH=12'de sabit tutularak sıcaklık 90-200 °C ve işlem süresi 15-90 dakika arasında değiştirilerek maksimum KOİ suda çözünlüğünün elde edildiği işlem sıcaklığı ve süresi belirlenmiş, daha sonra bu

işlem sıcaklığı ve işlem süresinde pH, 8-13 arasında değiştirilerek uygun işlem pH'ı belirlenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında en uygun önişlem sıcaklığı ve süresi pH'ı sırasıyla 140°C, pH=12 ve 30 dakika olarak belirlenmiş ve bu koşullarda KOİ'nin suda çözünürlüğünün % 71 olduğu saptanmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise bu koşullarda önişlem yapılan arıtma çamuru, asidojenik ve metanojenik iki ayrı reaktörde anaerobik parçalanabilirliği araştırılmıştır. Reaktörler başlangıçta glikoz ile beslenerek ve asidojen reaktör (10 L'lik CSTR) pH=6-6.5 aralığında, 35 °C ve 0-60 gün 1.6 gKOİ/L.d, 60-125. günler arası 5.6 gKOİ/L.d organik yükleme hızlarında, metanojen reaktör (6.5 L'lik FBR akışkan yataklı reaktör) ise 37 °C ve pH=7.9'de ve 2 gKOİ/L.d organik yükleme hızında çalıştırılmış, önişlem yapılmış arıtma çamuru belli aralıklarla eklenerek reaktör performansları incelenmiştir. Çalışma sonunda önişlem yapılmış arıtma çamurunun eklenmesi ile gaz üretim verimi ve KOİ gideriminin azaldığı belirtilmiş ve arıtma çamurunun önişlemi ile bazı biyokimyasal olayları durduran moleküllerin oluşabileceği belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca arıtma çamurlarında yüksek oranlarda bulunan proteinlerin hidrolizi ile oluşan amonyum iyonlarının ve pH ayarlama veya bazik önişlem amaçlı kullanılan NaOH'tan kaynaklanan sodyum iyonlarının anaerobik aktiviteyi durdurabileceği rapor edilmiştir [85].

Penaud ve ark. (2000) ileri çalışmalarında arıtma çamurunun termokimyasal önişlemleri ile oluşan toksik bileşiklerin H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (fosforik asit) ile asidik çöktürme ve sulu çözeltilerde apolar, apolar çözeltilerde ise polar bileşikleri tutan iyon değiştirici adsorban reçine (XAD7AD) ile giderimi araştırmışlardır. Çalışma sonucunda biyolojik parçalanmanın, pH=3'de asidik çöktürme ile %32.5'ten % 58.8'e, iyon değiştirici reçine ile ise % 57.8'e çıkarıldığı, arıtma çamurunun termokimyasal önişlemleri ile oluşan büyük moleküllü toksik maddelerin fosforik asitle çöktürülebileceği veya uygun iyon değiştirici reçinelerle giderilerek biyolojik parçalanma veriminin artırılabilceği belirtilmiştir [86,87].

Susuzlaştırılmış anaerobik arıtma çamuru 175 °C'de sıvılaştırılmış, ardından santrifüjlenerek katı (% 42.3) ve sulu (% 57.7) kısımları ayrılmış, % 92.3 nem ve % 7 UKM (1.9-2.2 gUKM/L) uçucu katı madde içeren sulu kısmın ve işlem yapılmamış susuz arıtma çamurunun anaerobik biyogaz üretim verimi araştırılmıştır. Çalışma sonunda, anaerobik işlemin ilk 9 gününde, önişlem yapılmamış arıtma çamurundan



251 mLbiyogaz/gUKM<sub>eklenen</sub> biyogaz üretim verimi sağlanırken, termokimyasal olarak sıvılaştırılmış arıtma çamurunun sulu kısmından 440 mLbiyogaz/gUKM<sub>eklenen</sub> biyogaz üretim verimim sağlanmıştır. Çalışmada ayrıca % 66 UKM giderimi sağlanarak, termokimyasal sıvılaştırma ile arıtma çamurundan biyogaz üretim veriminin % 75 artırılabilceği belirtilmiştir [88].

Susuzlaştırılmış anaerobik arıtma çamuruna (%15.7 TKM) termokimyasal sıvılaştırılma işlemi uygulanarak, arıtma çamurunun metan üretim verimine termokimyasal sıvılaştırmanın etkileri araştırılmıştır. Termokimyasal sıvılaştırma işlemi; 175°C ve 4 MPa'da 1 saat süreyle uygulanmış, ardından sıvılaştırılmış çamur santrifüjlenerek katı (% 52.3) ve sulu (%44.7) kısımları ayrılmıştır. 1.6-2.2 gUKM/L uçucu katı madde içeren sulu kısmın anaerobik işlemi ile işlemin ilk 8 gününde 339 mLbiyogaz/gUKM<sub>eklenen</sub> biyogaz üretim verimi saptanarak, % 61 UKM giderimi sağlanmıştır [89].

Termokimyasal önışlemlerin, evsel atıksu arıtma çamuru ile karışık evsel ve endüstriyel atıksu arıtma çamurlarındaki UAKM'nin (uçucu askıda katı madde) sudaki çözünürlüğüne ve arıtma çamurlarının metan üretim verimlerine etkileri araştırılmıştır. Termokimyasal önışlemler, 130 °C'de, 5 dakika süreyle ve 0.3 gNaOH/gUAKM sodyum hidroksit eklenerek yapılmıştır. Termokimyasal önışlemler ile UAKM suda çözünürlüğü karışık aktif çamurda % 40-50 iken evsel aktif çamurda % 70-80 olarak belirlenmiştir. Üç aylık anaerobik işlemden sonra üretilen metan üretim veriminde termokimyasal önışlemler ile karışık aktif çamurda % 200, evsel aktif çamurda ise % 30 artış gözlenmiştir. Bununla beraber termokimyasal önışlemlerden sonra evsel aktif çamurdan 12.8 mLCH<sub>4</sub>/gUAKM metan üretim verimi ve karışık aktif çamurdan 29.1 mLCH<sub>4</sub>/gUAKM metan üretim verimi sağlanmıştır. Termokimyasal önışlemlerin, UAKM'nin suda çözünürlüğünde, evsel aktif çamurda, metan üretim veriminde ise karışık aktif çamurda daha etkili olduğu rapor edilmiştir [90].

Atık büro kağıtları ve gazete kağıtlarının, anaerobik kesikli reaktörde anaerobik parçalanma koşulları araştırılmıştır. Çalışma sonunda büro kağıtlarında 165 günde KOİ'nin, ortalama %71-85'inin metana dönüştüğü, gazete kağıtlarında ise 300 günde selülozun % 80'inin parçalandığı ve KOİ'nin % 32-41'inin metana dönüştüğü belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, termal önışlemler ve sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>),

hidroklorik asit (HCl) ve sodyum hidroksit (NaOH) ile kimyasal önişlemlerinin gazete kağıdından metan üretimine etkileri araştırılmıştır. % 10 NaOH ile yapılan önişlem ile gazete kağıdının biyolojik parçalanmasında önemli bir artış olduğu, termal önişlemlerde ligninin suda çözünürlüğünün artırdığı fakat metan üretim verimini artırmadığı belirlenmiştir. Kimyasal önişlemlerde, metan üretim verimi ve suda çözünürlüğün artışında, NaOH ile yapılan işlemin, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HCl ile yapılan önişlemlerden, daha etkili olduğu belirtilmiştir [91].

Kütlece % 76.14 nem ve % 94.9 UKM içeren greyfurt kabuğundaki katı maddenin, termal, kimyasal ve termokimyasal önişlemlerle suda çözünürlüğünün artırılabilirliği araştırılmıştır. Önişlemler, % 5.5 katı madde içeren sulu greyfurt kabuğu karışımlarına uygulanmış ve sulu karışımlara, karışımdaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaOH eklenerek oda sıcaklığında ve suyun normal kaynama sıcaklığında 1 ve 2 saat sürelerle yapılmıştır. Çalışmada greyfurt kabuğunun suda çözünürlüğü, 2 saat oda sıcaklığında H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH ve kimyasal madde kullanılmadan yapılan çalışmalarda sırasıyla, % 39.70, % 48.79 ve % 33.85 olarak belirlenmiştir.

Maksimum suda çözünürlük (% 70.2) ise greyfurt kabuğunun 1 saat süreyle pH=1.72 ve oda sıcaklığında (25.4 °C) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve ardından da pH=12.28'de NaOH ile 1 saat süreyle suyun normal kaynama sıcaklığında uygulanan önişlemden elde edilmiştir [92].

Taner. ve ark. (2002b) greyfurt kabuğuna uygulanan önişlemleri, bir başka çalışmalarında kütlece % 27.06 katı madde ve % 96.30 UKM içeren portakal kabuğuna uygulamış ve termokimyasal önişlemlerle portakal kabuğundaki katı maddenin suda çözünürlüğünün artırılabilirliği araştırılmışlardır. Çalışma sonunda maksimum suda çözünürlük, greyfurt kabuğuyla yapılan çalışmada olduğu gibi, 1 saat süreyle oda sıcaklığında (25.4 °C) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve ardından da NaOH ile 1 saat süreyle suyun normal kaynama sıcaklığında uygulanan önişlemden elde edilmiş ve suda çözünürlük % 64.69 olarak belirlenmiştir [93].

Portakal kabuğunun anaerobik parçalanmasına termokimyasal önişlemlerin etkileri araştırılmıştır. Kütlece % 20 katı madde içeren sulu portakal kabuğu karışımlarına katı maddenin % 5, % 10 ve % 15 'i kadar NaOH eklenerek 1 ve 2 saat suyun normal kaynama sıcaklıklarında pişirilen karışımlar süzülerek süzüntülere

anaerobik işlem uygulanmıştır. Anaerobik işlem 25 °C'de, 15 gün süreyle ve 25 mL'lik kesikli anaerobik reaktörlerde yürütülmüştür. Çalışma sonunda kütlece % 15 NaOH ile 2 saat suyun normal kaynama sıcaklığında önışlemlerle kütlece % 38.7 suda çözünürlük belirlenmiş ve 15 günde toplam 27.95 mL(STP) metan üretildiği rapor edilmiştir. Çalışmada ayrıca portakal kabuğu atıklarının anaerobik metan üretiminde NaOH ile önışlemlerin metan üretim verimini artırdığı belirtilmiştir [94].

Soya fasulyesi saplarına NaOH ekleyerek suyun kaynama sıcaklığında termokimyasal önışlem uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, termokimyasal önışem ile anaerobik biyolojik parçalanmanın hızlandığı ve üretilen biyogaz miktarının arttığı rapor edilmiştir [95].

SEKA katı atıklarının 0,1 MPa basınç altında 250 °C, 300 °C ve 350 °C sıcaklıklarda, %15 asetik asit eklenerek sıvılaştırılmaları sonucu elde edilen üç farklı sulu fazın, 37 °C sıcaklıkta ve 24 günlük sürede anaerobik işlem ile biyogaz üretim verimine önışlemlerin etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda 250 °C ve 300 °C sıcaklıklarda elde edilen sulu fazlardan üretilen gaz miktarının oldukça yüksek olduğu, 350 °C sıcaklıkta üretilen sulu fazdan üretilen gaz miktarının ise çok az olduğu belirtilmiştir [96].

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN HAMMADDE

##### 3.1.1. Çalışmada Kullanılan Hammadde

Çalışmada, modern anlamda yumurta tavukçuluğu yapan çiftlikten (Zümrüt Çiftlik Ürünleri Üretim ve Ticaret Ltd. Şti. Gözne Yumurta Üretim Çiftliği) alınmış taze tavuk gübresi kullanılmıştır. Gübre, tavuk kafeslerinin altından gübreyi otomatik olarak boşaltan bant üzerinden, numuneye tüy vs. gibi yabancı maddelerin girmemesine dikkat edilerek alınmıştır.

Yumurta üreticiliğinde kullanılan tavuk yemi üretiminde mısır, arpa, buğday, sorgum, çavdar, kepek, pamuk küspesi, ayçiçeği küspesi, soya küspesi, tam yağlı soya, melas, bitkisel yağ, don yağı, kireç taşı, tuz, di kalsiyum fosfat (DCP), vitamin ve mineraller kullanılmaktadır. Bu maddelerden üretilen yemin bileşiminde ise nişasta, proteinler, selüloz, ve besin elementleri (kalsiyum, fosfor ve sodyum) bulunmaktadır. Yemlikler kafeslerin dışında bulunmakta ve beslenme sırasında yem sıçrayarak gübreye karışabilmektedir. Ayrıca gübre bileşiminde enzimatik olarak sindiremeyen maddeler de bulunmaktadır.

##### 3.1.2. Hammaddenin Özelliklerinin Saptanması

Çalışmada kullanılan katı tavuk gübresi özelliklerinin saptanması için yapılan, nem, toplam katı madde, kül ve uçucu madde analizleri Standart Metotlara [97], göre yapılmıştır. Gübre, analizleri yapılmadan önce homojenliğin sağlanması amacıyla iyice karıştırılmıştır.

###### 3.1.2.1. Nem ve kuru madde tayini

Nem ve kuru madde tayinleri, darası alınmış cam petriyer kullanılarak ve numune etüvde 70 °C 'de sabit tartıma gelene kadar kurutularak gravimetrik olarak saptanmış, nem ve kuru madde içerikleri toplam madde üzerinden kütlece % olarak

hesaplanmıştır. Yapılan analizler üçlü paralel olarak yürütülmüş ve hesaplamalarda sonuçların ortalamaları kullanılmıştır.

### 3.1.2.2. Uçucu madde ve kül tayini

Uçucu madde ve kül tayinleri, kül fırınında porselen krezeler kullanılarak 550 °C' de 2 saat bekletilerek yapılmış, uçucu madde ve kül içerikleri gravimetrik olarak saptanmış ve kuru madde üzerinden hesaplanmıştır. Yapılan analizler üçlü paralel olarak yürütülmüş ve hesaplamalarda sonuçların ortalamaları kullanılmıştır.

## 3.2. HAMMADDEYE UYGULANAN ÖNİŞLEMLER

Önişlemler, orijinal tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına uygulanmıştır. Önişlem uygulanacak karışımlardan, oda sıcaklığında (OS) işlem yapılacaklar 100 mL'lik beherlerde, suyun normal kaynama sıcaklığında (SNKS) işlem yapılacaklar ise 250 mL'lik rodajlı erlenlerde, her bir beher ve erlene 20'şer gram tartılarak üzerine, karışımda %10 katı madde olacak şekilde saf su eklenerek hazırlanmıştır. Tavuk gübresi tartımları, hassas terazi kullanılarak ve doğrudan kullanılacak beher ve erlenlere taze tavuk gübresi konularak yapılmıştır. Hazırlanan karışımlara değişen derişimleri sağlayacak biçimde, asit ( $H_2SO_4$ ) ve baz ( $NaOH$ ) eklenerek, pH'ları ölçülüp SNKS'da önişlem, elektrikli düz ısıtıcıda (Hot plate) geri soğutucular altında yapılmıştır.

Çalışmada derişik  $H_2SO_4$  (% 98'lik) asit ve kütlece % 50'lik sulu  $NaOH$  çözeltileri kullanılmıştır.

Çalışmada kontrol olarak, orijinal tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarından, kimyasal madde kullanılmadan, OS'da ve SNKS'da bir ve ikişer saat önişlemler uygulanmış karışımları kullanılmıştır.

Tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına uygulanan işlemler Şekil 3.1.' de şematik olarak gösterilmiştir.

### 3.2.1. Kimyasal Önişlemler

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaOH kullanılarak, oda sıcaklığında yapılan önişlemler alt başlıklar halinde verilmiştir.

#### 3.2.1.1. Asidik kimyasal önişlemler

Asidik kimyasal önişlemler tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına;

- karışımdaki katı maddenin kütlece %10'u olacak şekilde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenerek,
- karışımdaki katı maddenin kütlece %15'i olacak şekilde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenerek,
- karışımdaki katı maddenin kütlece %20'si olacak şekilde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenerek,

oda sıcaklığında, bir ve iki saatlik işlem sürelerinde yapılmıştır.

#### 3.2.1.2. Bazik kimyasal önişlemler

Bazik kimyasal önişlemler tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına;

- karışımdaki katı maddenin kütlece %10'u olacak şekilde NaOH eklenerek,
- karışımdaki katı maddenin kütlece %15'i olacak şekilde NaOH eklenerek,
- karışımdaki katı maddenin kütlece %20'si olacak şekilde NaOH eklenerek,

oda sıcaklığında, bir ve iki saatlik işlem sürelerinde yapılmıştır.

### 3.2.2. Termokimyasal Önişlemler

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaOH kullanılarak, suyun normal kaynama sıcaklığında yapılan önişlemler alt başlıklar halinde verilmiştir.

#### 3.2.2.1. Asidik termokimyasal önişlemler

Asidik termokimyasal önişlemler, tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına;

- karışımdaki katı maddenin kütlege %10'u olacak şekilde  $H_2SO_4$  eklenerek,
- karışımdaki katı maddenin kütlege %15'i olacak şekilde  $H_2SO_4$  eklenerek,
- karışımdaki katı maddenin kütlege %20'si olacak şekilde  $H_2SO_4$  eklenerek,

suyun normal kaynama sıcaklığında, bir ve iki saatlik sürelerde, geri soğutucular altında kaynatılarak yapılmıştır.

### 3.2.2.2. Bazik termokimyasal önışlemler

Bazik termokimyasal önışlemler tavuk gübresinin kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına;

- karışımdaki katı maddenin kütlege %10'u olacak şekilde NaOH eklenerek,
- karışımdaki katı maddenin kütlege %15'i olacak şekilde NaOH eklenerek,
- karışımdaki katı maddenin kütlege %20'si olacak şekilde NaOH eklenerek,

suyun normal kaynama sıcaklığında, bir ve iki saatlik işlem sürelerinde, geri soğutucular altında kaynatılarak yapılmıştır.

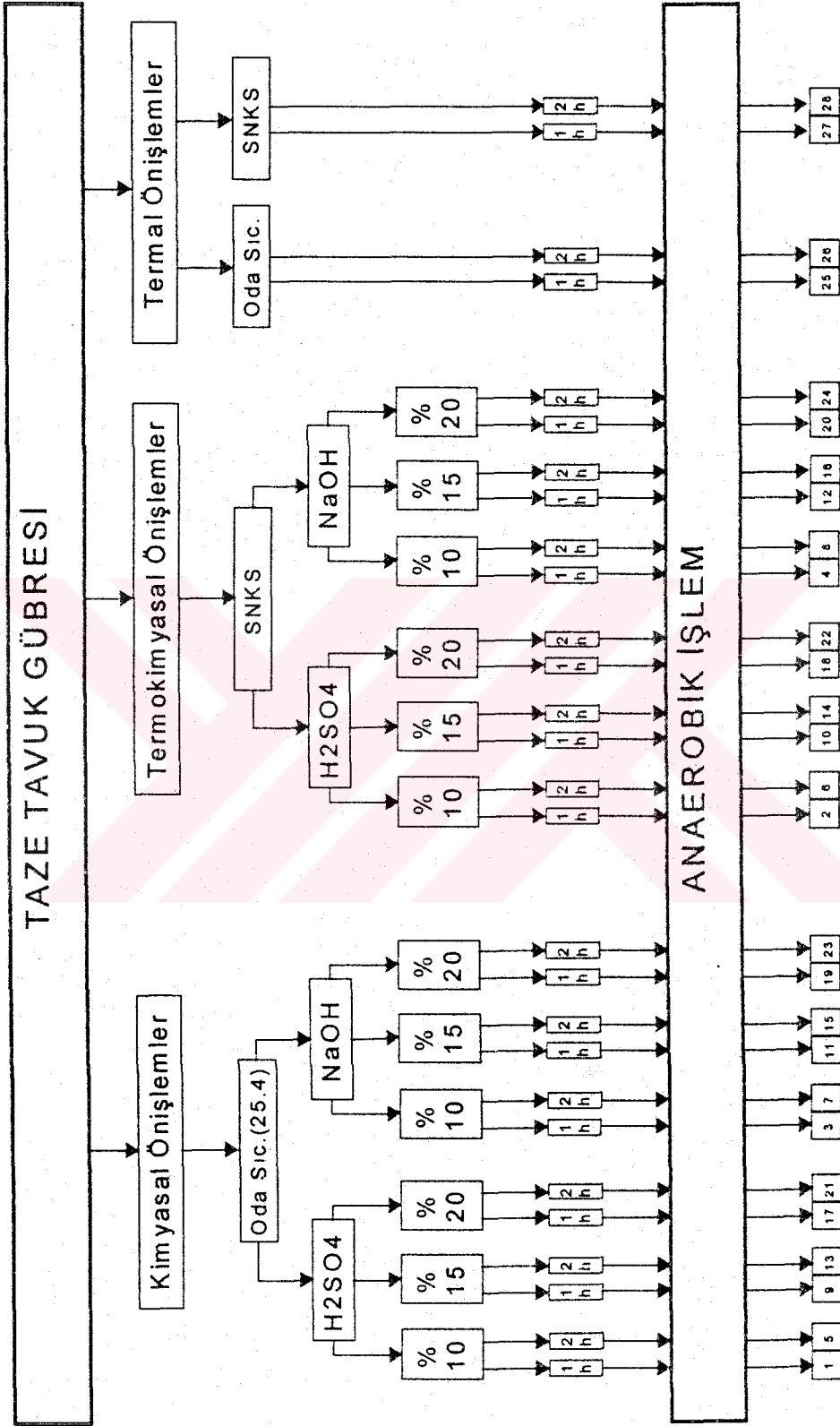
### 3.2.3. Termal Önışlemler

Termal önışlemler tavuk gübresinin kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışıma kimyasal madde eklenmeden;

- oda sıcaklığında bir ve iki saat bekletilerek,
- suyun normal kaynama sıcaklığında, bir ve iki saat, geri soğutucular altında kaynatılarak yapılmıştır.

## 3.3. SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜN SAPTANMASI

Çalışmada, katı maddeyi sulu fazdan ayırmak için, petri kaplarında,  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de nemleri uçurularak tartımı alınmış cam pamukları kullanılmıştır. Cam pamuğundan süzme işlemi, 500 mL'lik erlenlerin üzerine, içlerine cam pamuğu yerleştirmiş huniler kullanılarak yapılmıştır.



Şekil. 3.1. Taze Tavuk Gübresine Uygulanan Ön işlemlerin Şematik Olarak Gösterimi



Önişlem uygulanmış küttelece % 10 katı madde içeren sulu karışımlar ilk önce cam pamuğu kullanılarak süzölmüş ve cam pamuğunda suda çözünmüş madde kalmaması için saf suyla iyice yıkanıp, sulu fazın toplam hacmi belirlenmiştir. Karışımların süzölmesinden ve iyice saf su ile yıkamadan sonra hunilerdeki cam pamukları, tekrar kendi petri kaplarına konularak 70 °C'ye ayarlanmış etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurumaya bırakılmıştır. Sabit tartıma gelen kuru cam pamukları yine petri kapları ile birlikte desikatörde soğutulup tartılmıştır.

Cam pamuğunda kalan kurutulmuş katı madde miktarı gravimetrik olarak saptanmıştır. Süzölerek elde edilen sulu fazdaki çözünmüş katı madde miktarı; başlangıçta kullanılan katı madde miktarından, cam pamuğunda kalan katı madde miktarı farkından saptanarak, başlangıçtaki katı maddenin küttelece suda çözünen yüzdeleri hesaplanmıştır. Suda çözünlürleştirme işleminden sonra elde edilen sulu fazın toplam hacimleri saptanmış ve suda çözünen madde derişimleri hesaplanmıştır. Önişlemlerden elde edilen sulu fazlar anaerobik işlemlerde kullanılmıştır.

### 3.4. ANAEROBİK İŞLEMLER

Anaerobik işlem, biyoassay teknik kullanılarak, önişlem uygulanmış tüm karışımların süzölmesi ile elde edilen sulu fazlara uygulanmıştır. Tüm sulu fazlardaki, suda çözünmüş halde bulunan maddelerin anaerobik parçalanabilirliğinin saptanması için her önişlem koşulundan elde edilen sulu fazlar, 30 °C'de anaerobik biyolojik parçalanmaya bırakılmıştır. Biyolojik parçalanma süresince üçer günlük aralıklarla, üretilen biyogaz ve metan hacimleri ölçölmüş ve gaz hacimleri STP'de kuru gaz olarak hesaplanmıştır. Asidik, bazik ve kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden, maksimum suda çözünlürölüğün elde edildiği sulu fazlarda bulunan maddelerin anaerobik biyolojik parçalanma gidişinin izlenmesi için üçer günlük aralıklarla, gaz ölçümleri ile birlikte, KOİ, BOİ ve MLSS derişimleri, Standart Metotlara [97] göre saptanmıştır.

Önişlemlerden elde edilen tüm sulu fazlar ile asidik, bazik ve kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerde maksimum suda çözünlürölüğün elde edildiği sulu fazlara uygulanan anaerobik işlem koşulları ve uygulanan analizler alt başlıklar halinde verilmiştir.

### 3.4.1. Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşlemi

#### 3.4.1.1. Uygulanan anaerobik işlem koşulları

Anaerobik işlemlerde, gaz ölçümü için, kesikli anaerobik reaktör olarak toplam 29 adet 100 mL'lik serum şişeleri kullanılmıştır. Bu serum şişelerinin 28 adedi, termal, kimyasal ve termokimyasal önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 adedi ise % 10 katı madde olacak şekilde sulandırılan orijinal numunenin anaerobik işleminde kullanılmıştır.

Şişelere, sulu fazlardan 50'şer mL örnek ölçülerek doldurulmuştur. Şişelere konulan sulu fazlarda bulunan toplam madde miktarı, katı maddenin suda çözünürleştirme işleminde suda çözünen madde miktarından, sulu fazlarda hesaplanan çözünmüş madde derişiminden hesaplanmıştır.

Önişlem uygulanmış sulu karışımların süzülmesi ile elde edilen sulu fazların pH'ları, asidik önişlem uygulanan sulu fazlarda, kütlece % 50'lik sulu NaOH çözeltisi, bazik önişlem uygulanmış sulu fazlarda ise kütlece % 98'lik derişik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi kullanılarak, pH=7'ye ayarlanmıştır.

Daha sonra tüm sulu fazlara, ortamda yeterince mikroorganizma bulunmasının sağlamak amacıyla aşı çözeltisi ilave edilmiştir. Aşı çözeltisi, % 10 katı madde içeren sulu tavuk gübresi karışımının cam pamuğundan süzülmesi ile elde edilmiş ve her bir şişeye 2'şer mL aşı çözeltisi eklenmiştir.

Anaerobik işlem, 30 °C'ye ayarlanmış etüve kullanılarak ve 30 günlük anaerobik işlem süresinde yapılmıştır.

#### 3.4.1.2. Biyogaz ve metan miktarlarının saptanması

Önişlemler sonucu elde edilen sulu fazlardaki suda çözünmüş maddelerin anaerobik parçalanabilirliğinin saptanması için tüm sulu fazlarda, üçer günlük aralıklarla, üretilen biyogaz hacmi ölçülmüştür. Biyogaz daha sonra % 33'lük KOH çözeltisinden geçirilerek CO<sub>2</sub> den arındırılmış kalan metan gazının hacmi ölçülmüştür. Gaz hacimleri STP'de kuru gaz olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan gaz toplama ve miktarını ölçme düzeneği Şekil 3.2.'de verilmiştir

### 3.4.2. Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşlemi ve İzlenmesi

Asidik, bazik ve kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden, maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği sulu fazların anaerobik işlemi;

- Asidik önişlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımındaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar  $H_2SO_4$  eklenerek, SNKS'da kaynatılarak yapılan, 2 saatlik önişlemden (22 nolu önişlem, Çizelge 4.2) elde edilen sulu faza,
- Bazik önişlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımındaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar NaOH eklenerek, SNKS'da kaynatılarak yapılan 2 saatlik önişlemden (24 nolu önişlem, Çizelge 4.2) elde edilen sulu faza ve
- Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımın, SNKS'da bekletilerek yapılan 2 saatlik önişlemden (28 nolu önişlem, Çizelge 4.2) elde edilen sulu faza uygulanmıştır.

#### 3.4.2.1. Uygulanan anaerobik işlem koşulları

Uygulanan önişlemler sonucu maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği sulu fazların pH'ları, asidik önişlem uygulanan sulu fazlarda, kütlece % 50'lik sulu NaOH çözeltisi, bazik önişlem uygulanmış sulu fazlarda ise kütlece % 98'lik derişik  $H_2SO_4$  çözeltisi kullanılarak, pH=7'ye ayarlanmıştır.

Daha sonra tüm sulu fazlara, ortamda yeterince mikroorganizma bulunmasının sağlamak amacıyla aşı çözeltisi ilave edilmiştir. Aşı çözeltisi, % 10 katı madde içeren sulu tavuk gübresi karışımının cam pamuğundan süzülmesi ile elde edilmiş ve her bir şişeye 2'şer mL aşı çözeltisi eklenmiştir.

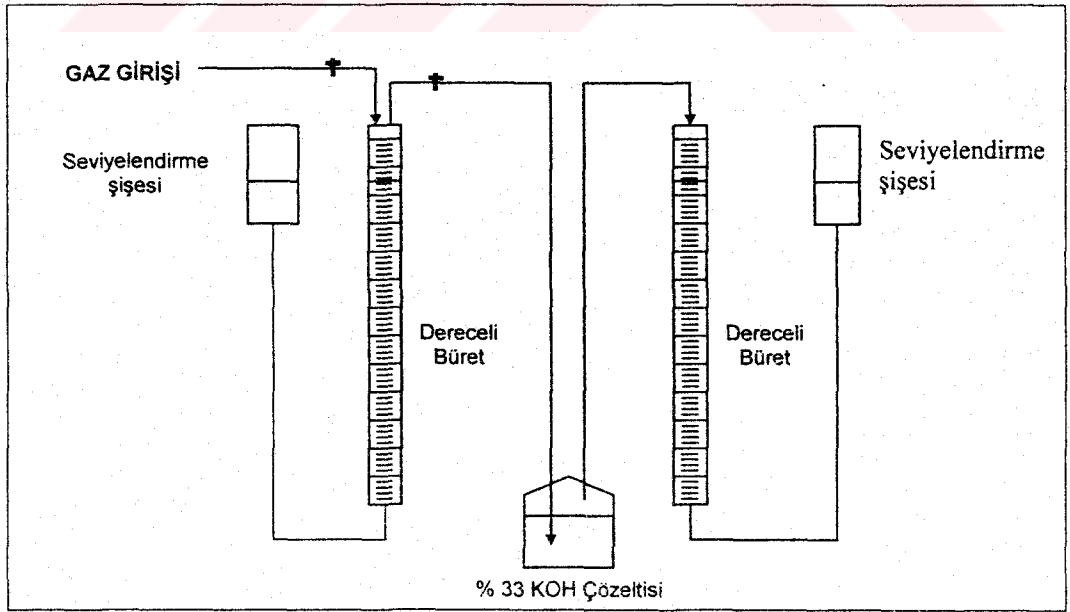
Anaerobik işlemlerde, gaz ölçümü için, kesikli anaerobik reaktör olarak, her bir sulu faz için 1'er adet, toplam 3 adet 100 mL'lik serum şişeleri, KOİ, BOİ ve MLSS analizleri için ise toplam 30 adet, 15 mL'lik şişeler kullanılmıştır. Gaz üretiminde

kullanılan şişelere, sulu fazlardan 50'şer mL, KOİ, BOİ ve MLSS analizleri için kullanılan şişelere ise her bir onarlık şişe setleri, maksimum suda çözünürlüklerin elde edildiği sulu fazlardan 10'ar mL ile doldurulmuştur. Şişelerde bulunan sulu fazlardaki madde miktarı, ön işlemlerden sonra cam pamuğundan süzme ve yıkama işleminden elde edilen sulu fazların toplam hacminde saptanan çözünmüş madde derişiminden hesaplanmıştır.

Gaz üretimi ve KOİ; BOİ ve MLSS analizlerinde kullanılacak şişelere, kapakları kapatılarak, 30 °C'de ve 30 günlük sürede anaerobik işlem uygulanmıştır.

#### 3.4.2.2. Biyogaz ve metan miktarlarının saptanması

Maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği sulu fazlardaki suda çözünmüş maddelerin anaerobik parçalanabilirliğinin saptanması için tüm sulu fazlarda, üçer günlük aralıklarla, üretilen biyogaz hacmi laboratuvar koşullarında (0.1 MPa) ölçülmüştür. Biyogaz daha sonra % 33'lük KOH çözeltisinden geçirilerek CO<sub>2</sub> den arındırılmış kalan metan gazının hacmi ölçülmüştür. Gaz hacimleri STP' de kuru gaz olarak hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan gaz toplama ve miktarını ölçme düzeneği Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Araştırmada Kullanılan Gaz Toplama ve Miktarını Ölçme Düzeneği

### 3.4.2.3. Uygulanan analizler

Asidik, bazik ve kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden, maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği sulu fazlarda ise üçer günlük aralıklarla, gaz hacimleri ölçülmüştür. Ayrıca üçer günlük aralıklarla, 10 mL'lik şişelerden birer adet çıkarılarak KOİ, BOİ ve MLSS derişimleri, Standart Metotlara [97] göre saptanmıştır. BOİ ve KOİ ve MLSS analizleri için, 2,5 mL'lik örnekler tartımı alınmış santrifüj tüplerine konularak, 10 dakika, 15 000 rpm'de santrifüjlenmiştir. Üst duru fazdan alınan 0.5 mL örnek saf suyla 10 mL'ye seyreltilmiştir. KOİ ve BOİ analizleri, bu seyreltilmiş numuneden alınan 0.25 mL seyreltik numunenin, yine saf suyla 10 mL'ye seyreltilmesiyle elde edilen çözeltiye uygulanmıştır. Uygulanan analiz yöntemleri alt başlıklar halinde verilmiştir.

**BOİ Analizi:** BOİ analizleri Winkler yöntemi ile yapılmıştır. Analizler 10 mL'ye seyreltilen seyreltilmiş numunelere uygulanmıştır. Testte 280 mL'lik plastik pet şişeler BOİ şişesi olarak kullanılmıştır. Şişelere 0.25 mL seyreltik numune konulup üzerine 9.75 mL saf su eklenmiş, ardından şişeler ağızlarında boşluk kalmayacak şekilde, aşılınmış ve mikroorganizma besin elementleri içeren seyreltme suyu ile doldurulmuştur. Aşı maddesi olarak kanalizasyon sisteminden alınan evsel atıksu kullanılmıştır. Evsel atıksu çöktürülmüş ve seyreltme suyuna, üstten alınan karışımdan  $2.5 \text{ mL}_{\text{aşısuyu}}/L_{\text{seyreltme suyu}}$  oranda olacak şekilde karıştırılmıştır. Başlangıçtaki çözünmüş oksijen derişimi hemen, 5 gün sonraki çözünmüş oksijen derişimi, 5 gün, 20 °C'ye ayarlanmış inkübatörde bekletilen numuneler ile 5 inci günün sonunda saptanmıştır. BOİ<sub>5</sub> derişimi, başlangıç çözünmüş oksijen derişimim ile 5 gün sonra saptanan çözünmüş oksijen derişimi farkından, 5 günde biyolojik olarak tüketilen çözünmüş oksijen derişimi olarak hesaplanmıştır.

**KOİ Analizi:** KOİ analizleri 250 mL'lik rodajlı erlenler kullanılarak yapılmıştır. Erlenlere 0.25 mL seyreltik numune konulup üzerine 9.75 mL saf su eklenmiştir. Ardından erlenlere gerekli kimyasal maddeler eklenerek, ısıtıcı üzerinde geri soğutuculara bağlanmış ve 2 saat süreyle ısıtılmıştır. 2 saat sonunda

harcanmayan oksitleyici madde geri titrasyonla belirlenerek, KOİ derişimi harcanan oksitleyici madde üzerinden hesaplanmıştır.

**MLSS Analizi:** Orijinal sulu fazların santrifüjlendikten ve KOİ ve BOİ testleri için 0.5 mL numune alındıktan sonra, santrifüj tüplerinde kalan numune, santrifüj tüpleri ile birlikte 70 °C'de kurutulmuştur. 2.5 mL numunedeki MLSS miktarı, gravimetrik olarak, santrifüj tüpünde kalan kuru maddenin toplam kütesinden, santrifüj tüplerinin darası çıkartılarak saptanmıştır. 2.5 mL numunedeki kuru MLSS miktarından, sulu fazlardaki MLSS derişimi (mg/L) olarak hesaplanmıştır.

## 4. BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1. KULLANILAN HAMMADDENİN ÖZELLİKLERİ

Deneylede kullanılan hammaddenin özellikleri, yapılan üçlü paralel analizler sonucu çıkarılmış ve hammaddenin özellikleri **Çizelge 4.1.**'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Çalışmada Kullanılan Tavuk Gübresinin Özellikleri

Özellik	Değer
Nem (%)	78.96
Toplam Katı Madde(%)	21.04
Uçucu Katı Madde (Kuru katı maddenin %'si)	64.35
Kül (Kuru katı maddenin %'si)	35.65

**Çizelge 4.1.**'de görüldüğü gibi hammaddenin nemi ve katı maddenin külünün yüksek oluşu hammaddenin doğrudan yakılmasını engellemektedir. Ancak organik madde ve nemin yüksek oluşu, hammaddenin biyogaz üretiminde kullanılabileceğini göstermektedir. Biyogaz üretiminde de, doğrudan kullanılmayan katı madde derişiminin yüksek oluşundan dolayı, hammaddeye biyogaz üretim verimini artırıcı işlemlerin uygulanması gerekmektedir.

### 4.2. UYGULANAN ÖNİŞLEMLERİN TAVUK GÜBRESİNDEKİ KATI MADDENİN SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNE ETKİLERİ

Taze tavuk gübresine uygulanan önışlemler, önışlem süreleri ve önışlem sıcaklıkları **Çizelge 4.2.**'de verilmiştir. Daha sonra verilen şekil ve çizelgelerde, **Çizelge 4.2.**'de verilen önışlem numaraları kullanılmaktadır.

Uygulanan önışlemlerden sonra tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlükleri **Çizelge 4.3.** ve **Şekil 4.1.**'de verilmiştir. Önışlem koşullarına göre suda çözünürlükler ile bulgular ve yorumları alt başlıklar halinde verilmiştir.

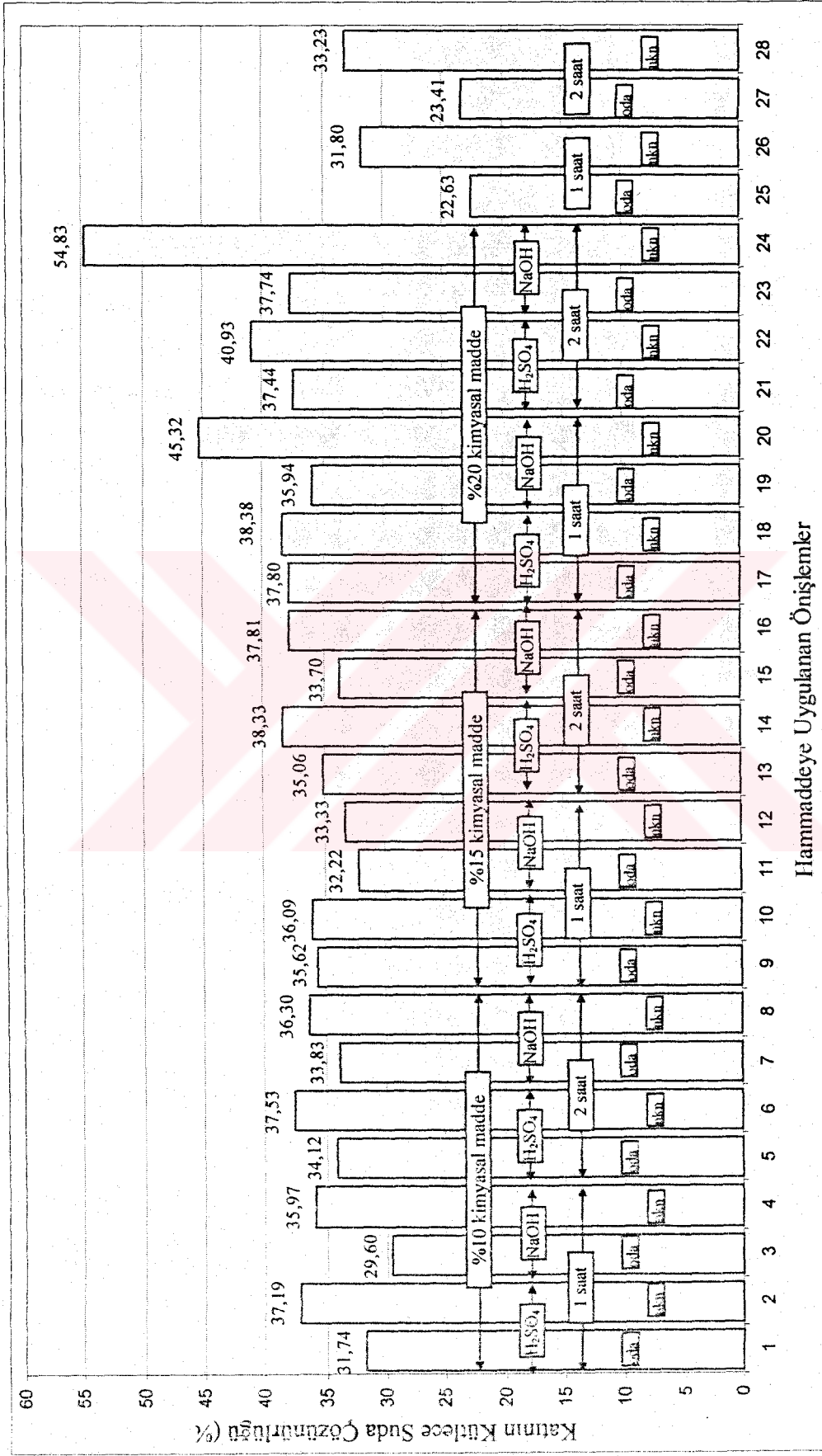
**Çizelge 4.2. Hammaddeye Uygulanan Önışlemler**

Önişlem No	İŞLEMLER	İşlem süresi (h)	İşlem Sıcaklığı (°C)
1	Katı maddenin kütlece % 10'u kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	25.5
2	Katı maddenin kütlece % 10'u kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	NKN
3	Katı maddenin kütlece % 10'u kadar NaOH	1	25.5
4	Katı maddenin kütlece % 10'u kadar NaOH	1	NKN
5	Katı maddenin kütlece % 10'u kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	25.5
6	Katı maddenin kütlece % 10'u kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	NKN
7	Katı maddenin kütlece % 10'u kadar NaOH	2	25.5
8	Katı maddenin kütlece % 10'u kadar NaOH	2	NKN
9	Katı maddenin kütlece % 15'i kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	25.5
10	Katı maddenin kütlece % 15'i kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	NKN
11	Katı maddenin kütlece % 15'i kadar NaOH	1	25.5
12	Katı maddenin kütlece % 15'i kadar NaOH	1	NKN
13	Katı maddenin kütlece % 15'i kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	25.5
14	Katı maddenin kütlece % 15'i kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	NKN
15	Katı maddenin kütlece % 15'i kadar NaOH	2	25.5
16	Katı maddenin kütlece % 15'i kadar NaOH	2	NKN
17	Katı maddenin kütlece % 20'si kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	25.5
18	Katı maddenin kütlece % 20'si kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	NKN
19	Katı maddenin kütlece % 20'si kadar NaOH	1	25.5
20	Katı maddenin kütlece % 20'si kadar NaOH	1	NKN
21	Katı maddenin kütlece % 20'si kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	25.5
22	Katı maddenin kütlece % 20'si kadar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2	NKN
23	Katı maddenin kütlece % 20'si kadar NaOH	2	25.5
24	Katı maddenin kütlece % 20'si kadar NaOH	2	NKN
25	% 10 katı madde içeren sulu karışım	1	25.5
26	% 10 katı madde içeren sulu karışım	1	NKN
27	% 10 katı madde içeren sulu karışım	2	25.5
28	% 10 katı madde içeren sulu karışım	2	NKN



**Çizelge 4.3. Önışlemlerle Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlükleri**

Önişlem No	Başlangıç Toplam Katı Madde (g)	Cam Pamuğunda Kalan Katı Madde (g)	Suda Çözünen Katı Madde (g)	Katı Maddenin Suda Çözünme Yüzdesi (%)
1	4.2085	2.8728	1.3357	31.74
2	4.2085	2.6432	1.5653	37.19
3	4.2085	2.9628	1.2457	29.60
4	4.2085	2.6946	1.5139	35.97
5	4.2085	2.7725	1.4360	34.12
6	4.2085	2.6290	1.5795	37.53
7	4.2085	2.7848	1.4237	33.83
8	4.2085	2.6809	1.5276	36.30
9	4.2085	2.7093	1.4992	35.62
10	4.2085	2.6896	1.5189	36.09
11	4.2085	2.8525	1.3560	32.22
12	4.2085	2.8060	1.4025	33.33
13	4.2085	2.7332	1.4753	35.06
14	4.2085	2.5953	1.6132	38.33
15	4.2085	2.7902	1.4183	33.70
16	4.2085	2.6173	1.5912	37.81
17	4.2085	2.6178	1.5907	37.80
18	4.2085	2.5934	1.6151	38.38
19	4.2085	2.6959	1.5126	35.94
20	4.2085	2.3013	1.9072	45.32
21	4.2085	2.6327	1.5758	37.44
22	4.2085	2.4859	1.7226	40.93
23	4.2085	2.6201	1.5884	37.74
24	4.2085	1.9011	2.3074	54.83
25	4.2085	3.2562	0.9523	22.63
26	4.2085	2.8700	1.3385	31.80
27	4.2085	3.2231	0.9854	23.41
28	4.2085	2.8099	1.3986	33.23



Hammaddeye Uygulanan Ön İşlemler

Şekil 4.1. Ön İşlemlerle Tavuk Gübresindeki Katı Maddeni Suda Çözünme Yüzdeleri

#### 4.2.1. Kimyasal Önişlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri

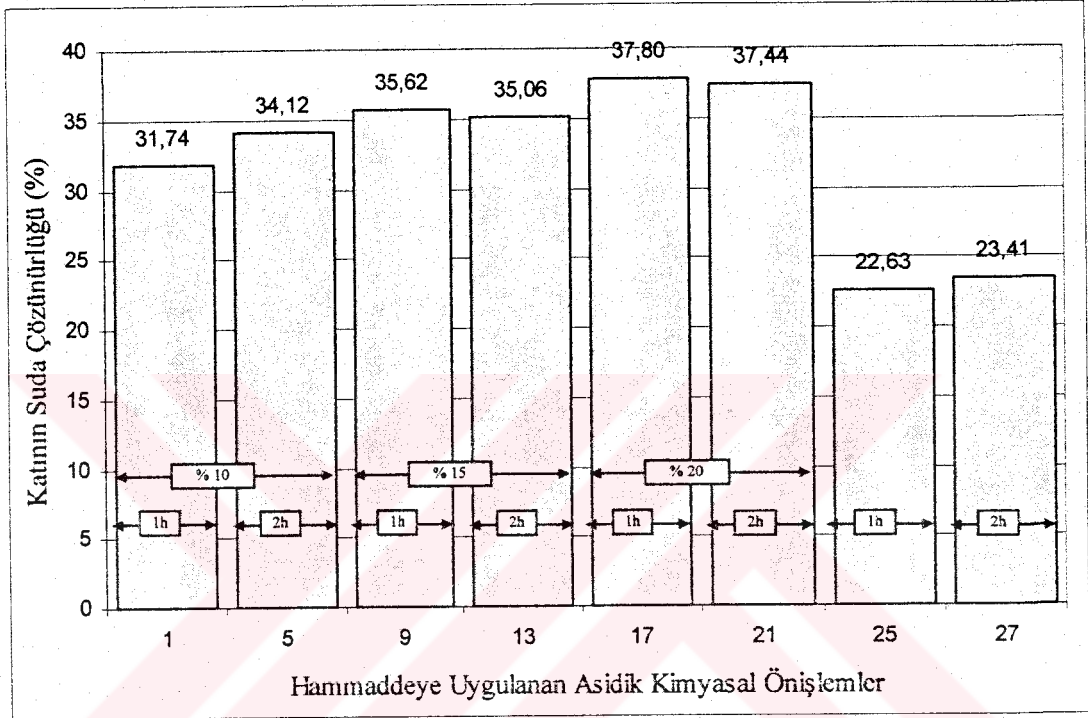
Oda sıcaklığında, katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve % 20'si kadar asit ( $H_2SO_4$ ) ve baz (NaOH) kullanılarak yapılan kimyasal önişlemlerle tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlük bulguları ve yorumu alt başlıklar halinde verilmiştir. Asidik kimyasal önişlemlerde saptanan, katının suda çözünen yüzdeleri **Şekil 4.2.**'de, bazik kimyasal önişlemlerde saptanan, katının suda çözünen yüzdeleri ise **Şekil 4.3.**'de verilmiştir. Katının suda çözünürlüğü ile ilgili bulgular ve tartışma alt başlıklarda verilmiştir.

##### 4.2.1.1. Asidik kimyasal önişlemlerin tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğüne etkileri

Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve %20' si kadar asit ( $H_2SO_4$ ) eklenip, oda sıcaklığında bir ve ikişer saat bekletilerek yapılan önişlemlerden elde edilen sonuçlar ve yorumu, kullanılan kimyasal madde miktarına göre alt başlıklar halinde verilmiştir.

**% 10  $H_2SO_4$  kullanımının suda çözünürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10'u kadar asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılarak yapılan asidik kimyasal önişlem ile tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önişlem ile kütlece % 31.74'ü ve 2 saatlik önişlem ile % 34.12'si suda çözünürken (**Şekil 4.2.**, 1. ve 5. önişlemler), kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerde ise 1 ve 2 saatlik önişlemler ile sırasıyla, kütlece % 22.63 ve % 23.41'inin suda çözünür hale geldiği saptanmıştır (**Şekil 4.2.**, 25. ve 27. önişlemler). Önişlem süresindeki artışla tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğü artmaktadır. Kimyasal madde kullanılmayan önişlemlerde, işlem süresindeki artışla suda çözünürlükte % 3 artış sağlanırken, asit eklenerek yapılan önişlemlerde % 7'lik bir artış sağlanmıştır. Buradan da, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğünde, asidik kimyasal önişlemlerin,

kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden daha etkin olduğu görülmektedir (Şekil 4.2.). Bununda gübrede bulunan veya yemden karışan nişastanın hidrolizinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bilindiği gibi asidik ortamda nişastadaki  $\alpha$  (1-O-4) bağının kopması ve nişastanın suda çözünen şekerlere dönüşümü kolay olmaktadır [98].



Şekil 4.2. Asidik Kimyasal Önişlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri

**% 15  $H_2SO_4$  kullanımının suda çözünlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 15'i kadar asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılarak yapılan asidik kimyasal önişlem ile, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önişlem ile kütlece % 35.62'si ve 2 saatlik önişlem ile kütlece % 35.06'sının suda çözümlü hale geldiği saptanmıştır (Şekil 4.2., 9. ve 13. önişlemler). Suda çözümlülük, asit kullanımı ve kullanılan asit miktarındaki artışla artmış, ancak katı maddenin % 15'i kadar asit kullanılan önişlemlerde, önişlem süresindeki artışın, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözümlülüğünde etkin olmadığı saptanmıştır. Ancak asidik önişlemlerle, kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemler karşılaştırıldığında, katı maddenin suda çözümlülüğündeki artışın, gübrede bulunan nişastanın asidik ortamda kolay

parçalanmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Nişastanın asidik ortamda daha kolay hidroliz olarak suda çözülmüş şekerlere dönüştüğü bilinmektedir [98].

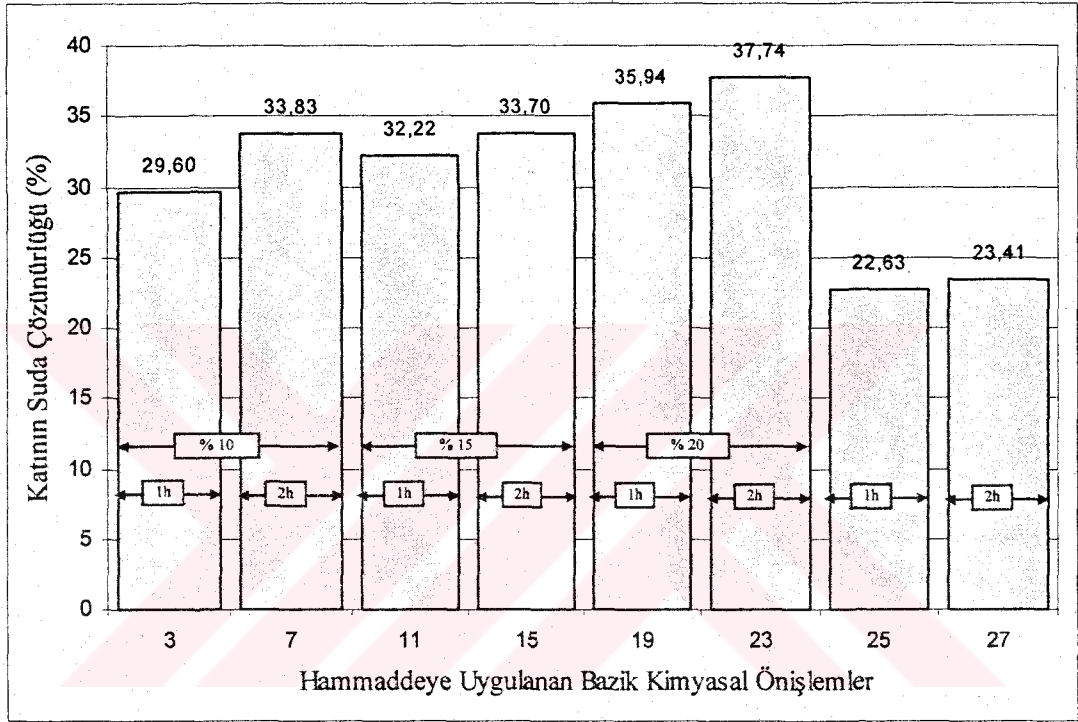
**% 20 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanımının suda çözünürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) kullanılarak yapılan asidik kimyasal önışlem ile, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önışlem ile kütlece % 37.80'inin ve 2 saatlik önışlem ile % 37.44'ünün suda çözümlür hale geldiği saptanmıştır (şekil 4.2., 17. ve 21. önışlemler). Katı maddenin % 15'i kadar asit kullanılan önışlemlerde olduğu gibi, % 20 asit kullanılan önışlemlerde de önışlem süresi, katı maddenin suda çözümlürlüğünde etkin olmamaktadır. Ancak kullanılan asit miktarındaki artışın, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözümlürlüğünü artırmadığı saptanmıştır. Katı maddenin % 10 ve %15'i olacak şekilde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak yapılan önışlemlerde olduğu gibi, %20 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanıldığında da, katı maddenin suda çözümlürlüğündeki artışın, gübrede bulunan nişastanın asidik ortamda kolay parçalanmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

4.2.1.2. Bazik kimyasal önışlemlerin tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözümlürlüğüne etkileri

Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren. sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve %20' si kadar baz (NaOH) eklenip, oda sıcaklığında bir ve ikişer saat bekletilerek yapılan önışlemlerden elde edilen sonuçlar ve yorumu, kullanılan kimyasal madde miktarına göre alt başlıklar halinde verilmiştir.

**% 10 NaOH kullanımının suda çözümlürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10'u kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik kimyasal önışlem ile, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önışlem ile kütlece % 29.60'ının ve 2 saatlik önışlem ile % 33.83'ünün suda çözümlür hale geldiği saptanmıştır (şekil 4.3., 3. ve 7. önışlemler). Bazik kimyasal önışlemler ile, önışlem süresindeki artışla tavuk

gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğü artmakta ve suda çözünürlükte % 13'lük bir artış sağlanmaktadır. Ancak aynı miktarda asit kullanılan kimyasal önışlemlerin, suda çözünürlükte, bazik kimyasal önışlemlerden daha etkin olduğu saptanmıştır (Şekil 4.1.). Buradan da katı maddenin suda çözünürlüğünde asidik önışlemlerin etkin olmasının, gübredeki nişastanın asidik ortamda daha kolay hidrolizinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır [98].



Şekil 4.3. Bazik Kimyasal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri

**% 15 NaOH kullanımının suda çözünürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 15'i kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik kimyasal önışlem ile, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önışlem ile kütlece % 32.22'sinin ve 2 saatlik önışlem ile kütlece % 33.70'inin suda çözünür hale geldiği saptanmıştır (Şekil 4.3., 11. ve 15. önışlemler). Suda çözünürlük, kullanılan baz miktarındaki artışla, bir saatlik işlemden artmakta, ancak 2 saatlik işlemden azalmaktadır. Katı maddenin suda çözünürlüğünde, katı maddenin kütlece % 15'i kadar asit kullanılarak yapılan önışlemlerin, aynı miktarda baz kullanılarak yapılan önışlemlerden daha etkin olduğu

saptanmıştır (Şekil 4.1.). Bilindiği gibi asidik ortamda nişastadaki  $\alpha$  (1-O-4) bağının kopması ve nişastanın suda çözünen şekerlere dönüşümü kolay olmaktadır [98]. Buradan da anlaşıldığı gibi katı maddenin suda çözünürlüğünde asidik önışlemlerin etkin olmasının, gübrede bulunan veya yemden karışan nişastanın hidrolizinden kaynaklanmaktadır.

**% 20 NaOH kullanımının suda çözünürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik kimyasal önışlem ile, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önışlem ile kütlece % 37.80'inin ve 2 saatlik önışlem ile % 37.44'ünün suda çözünür hale geldiği saptanmıştır (Şekil 4.3., 19. ve 23. önışlemler). Katı maddenin % 15'i kadar baz kullanılan önışlemlerde olduğu gibi, % 20 baz kullanılan önışlemlerde de önışlem süresi, suda çözünürlükte etkin olmamaktadır. Ancak kullanılan baz miktarındaki artışın, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğünü artırdığı saptanmıştır. Katı maddenin suda çözünürlüğünde, katı maddenin kütlece % 20'si kadar kimyasal madde kullanılan önışlemlerde, 1 saatlik kimyasal işlemlerde asidik önışlemin, 2 saatlik kimyasal işlemlerde ise bazik önışlemin etkin olduğu görülmektedir (Şekil 4.1.). Katı maddenin suda çözünürlüğünde, 1 saatlik işlemlerde asidik önışlemin etkin olması gübrede bulunan nişastanın asidik ortamda daha hızlı hidroliz olmasından [98], 2 saatlik kimyasal işlemlerde ise bazik önışlemin etkin oluşu, gübredeki enzimatik olarak parçalanamayan selülozik maddeler ile gübredeki proteinin bazik ortamda hidrolize uğramasından kaynaklanmaktadır. Kimyasal önışleminde, NaOH eklenmesi ile mikrobiyal biyokütledeki suda çözünür KOİ'nin arttığı [84], Portakal ve greyfurt kabuklarındaki selülozik maddelerin suda çözünür hale dönüştürülmesinde yine bazik önışlemlerin etkin olduğu rapor edilmektedir [92-94].

#### 4.2.2. Termokimyasal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri

Suyun normal kaynama sıcaklıklarında, katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve % 20'si kadar asit ( $H_2SO_4$ ) ve baz (NaOH) kullanılarak yapılan kimyasal

önişlemlerin tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlük bulguları ve yorumu alt başlıklar halinde verilmiştir. Asidik kimyasal önişlemlerle saptanan katının suda çözünen yüzdeleri **Şekil 4.4.**'de, bazik kimyasal önişlemlerle saptanan katının suda çözünen yüzdeleri ise **Şekil 4.5.**'de verilmiştir. Katının suda çözünürlüğü ile ilgili bulgular ve tartışma alt başlıklarda verilmiştir.

4.2.2.1. Asidik termokimyasal önişlemlerin tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğüne etkileri

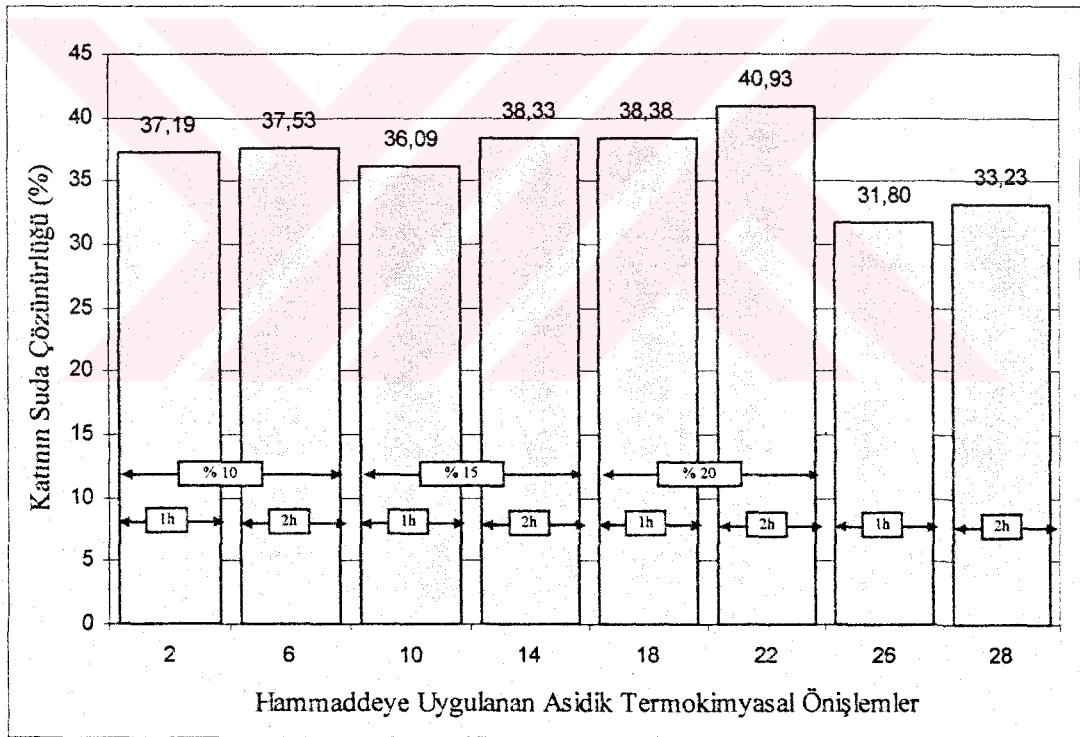
Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve %20' si kadar asit ( $H_2SO_4$ ) eklenip, suyun normal kaynama sıcaklığında, bir ve ikişer saat kaynatılarak yapılan önişlemlerden elde edilen sonuçlar ve yorumu, kullanılan kimyasal madde miktarına göre alt başlıklar halinde verilmiştir.

**% 10  $H_2SO_4$  kullanımının suda çözünürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10'u kadar asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılarak yapılan asidik termokimyasal önişlem ile, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önişlem ile kütlece % 37.19'u ve 2 saatlik önişlem ile % 37.53'ü suda çözünürken (**Şekil 4.4.**, 2. ve 6. önişlemler), kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerde ise, 1 ve 2 saatlik termal önişlemler ile sırasıyla, katı maddenin kütlece % 31.80'inin ve % 33.23'ünün suda çözünür hale geldiği saptanmıştır (**Şekil 4.4.**, 26. ve 28. önişlemler). Görüldüğü gibi tavuk gübresinin sulu karışımlarına, asit eklenmesi ile, katı maddenin suda çözünürlüğü artmakta ancak işlem süresindeki artışlar katı maddenin suda çözünürlüğünde artışa etkin olmamaktadır. Asidik termokimyasal önişlemlerden elde edilen suda çözünürlük bulguları ile asidik termal önişlemlerden elde edilen suda çözünürlük bulguları karşılaştırıldığında ise SNKS'da yapılan önişlemin katı maddenin suda çözünürlüğünü artırdığı görülmektedir (**Şekil 4.1.**). Suda çözünürlükte, asidik termokimyasal önişlemler ile, 1 saatlik işlem süresinde, asidik kimyasal önişlemden (**Şekil 4.2.**, 1 nolu önişlem) katının suda çözünürlüğünde % 19'luk, kimyasal madde kullanılmayan önişlemden (**Şekil 4.4.**, 26 nolu önişlem) ise



katının suda çözünürlüğünde % 17'lik bir artış saptanmıştır. 2 saatlik işlem sürelerinde, katı maddenin suda çözünürlüklerdeki artış ise asidik kimyasal önışlemden (Şekil 4.2., 5 nolu önışlem) % 10 ve kimyasal madde kullanılmayan önışlemden (Şekil 4.4., 28 nolu önışlem) % 13 olarak saptanmıştır.

% 10 asit kullanılarak yapılan kimyasal ve termokimyasal önışlemlerde, suda çözünürlüğün artırılmasında, işlem sıcaklığındaki artışın etkin olduğu, ancak işlem süresindeki artışın katı maddenin sudaki çözünürlüğünde fazla etkin olmadığı görülmektedir (Şekil 4.1.). Buradan da, katı maddenin kütlece % 10'u kadar asit kullanıldığında, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğünde, asidik termokimyasal önışlemlerin, asidik kimyasal önışlemlerin daha etkin olduğu sonucuna varılmaktadır. Burada, asidik ortamda, ısıl işlem, nişastanın daha hızlı ve kolay hidrolize uğramasına yol açmaktadır [98].



Şekil 4.4. Asidik Termokimyasal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri

**% 15  $H_2SO_4$  kullanımının suda çözünürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 15'i kadar asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılarak yapılan asidik termokimyasal önışlem ile, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önışlem ile kütlece % 36.09'unun ve

2 saatlik önişlem ile kütlece % 38.33'ünün suda çözümlür hale geldiği saptanmıştır (Şekil 4.4., 10. ve 14. önişlemler). Bazik termokimyasal önişlemlerde, katı maddenin suda çözümlürlüğünde, 1 saatlik işlemlerde, kullanılan asit miktarındaki artışla azalış, 2 saatlik önişlemlerde ise artış göstermektedir. Ancak katı maddenin % 15'i kadar asit kullanılan termokimyasal önişlemlerde, önişlem süresindeki artışın, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözümlürlüğünde etkin olduğu saptanmıştır. Katı maddenin hidrolizi, tanecik yüzeyinden içeriye doğru yürüyeceğinden, süre arttıkça, katı maddenin suda çözümlürlüğü de artacaktır. Burada yüzey sıyırma tepkimeleri (peeling) oluşumu nedeniyle, zamanla katı maddenin suda çözümlürlüğünde arttığı biçiminde yorumlanabilir.

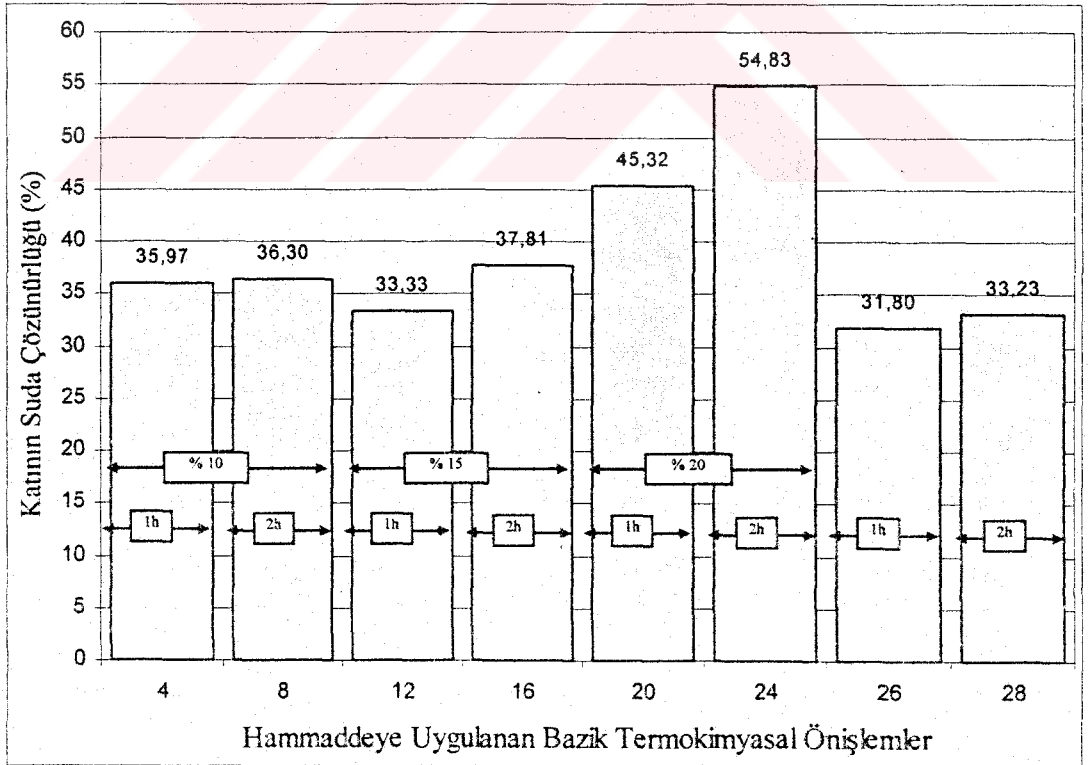
**% 20 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanımının suda çözümlürlüğüne etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) kullanılarak yapılan asidik termokimyasal önişlemlerle, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önişlemlerle kütlece % 38.38'inin ve 2 saatlik önişlemlerle katı maddenin % 40.93'ünün suda çözümlür hale geldiği saptanmıştır (Şekil 4.4., 18. ve 22. önişlemler). Asit kullanılarak yapılan tüm önişlemlerde 2 saatlik önişlemlerde elde edilen katı maddenin kütlece % suda çözümlürlük bulguları karşılaştırıldığında, suda çözümlürlükte en yüksek verim (%40.93), %20 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanıldığında, 2 saat (termokimyasal) ısıtılarak elde edilmiştir. Kimyasal madde kullanılmadan yapılan 2 saatlik termal önişlemlerden (Şekil 4.4., 28 nolu önişlemler) elde edilen suda çözümlürlük bulgusundan (%33.23), % 23 daha yüksek bir suda çözümlürlük saptanmıştır. Asit kullanımının, nişastanın hidrolize uğrayarak, katı maddenin suda çözümlürleştirmesini sağladığı biçiminde yorumlanabilir.

4.2.2.2. Bazik termokimyasal önişlemlerin tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözümlürlüğüne etkileri

Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve %20' si kadar baz (NaOH) eklenip, suyun normal kaynama sıcaklığında bir ve ikişer saat bekletilerek yapılan

önişlemlerden elde edilen bulgular ve yorumları, kullanılan kimyasal madde miktarına göre alt başlıklar halinde verilmiştir.

**% 10 NaOH kullanımının suda çözünürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10'u kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik termokimyasal önişlem ile, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önişlem ile kütlece % 35.97'sinin ve 2 saatlik önişlem ile % 36.30'unun suda çözünür hale geldiği saptanmıştır (Şekil 4.5., 4. ve 8. önişlemler). Bazik termokimyasal önişlemler ile, önişlem süresindeki artışın, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğünde fazla etkin olmadığı görülmektedir. Sadece süreye bağlı suda çözünürlükte % 1'lik bir artış sağlanmıştır. Aynı miktarda kimyasal madde kullanılan önişlemlerde, asidik termokimyasal önişlemlerin, katı maddenin suda çözünürlüğünde (%37.19, 1 saat; %37.53, 2 saat), bazik termokimyasal önişlemlerden daha etkin olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni, asidin nişasta hidrolizinde etkin olmasıdır [98].



Şekil 4.5. Bazik Termokimyasal Önişlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri

**% 15 NaOH kullanımının suda çözünürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 15'i kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik termokimyasal önışlem ile, tavuk gübresindeki katı maddenin, 1 saatlik önışlem ile kütlece % 33.33'ünün ve 2 saatlik önışlem ile kütlece % 37.81'inin suda çözünür hale geldiği saptanmıştır (**Şekil 4.5.**, 12. ve 16. önışlemler). Katı maddenin suda çözünürlüğünde, kullanılan baz miktarındaki artışın, bir saatlik işlemden (%10 NaOH, %35.37) etkin olmadığı saptanmıştır. Ancak 2 saatlik işlemden %10 NaOH kullanıldığında elde edilen katı maddenin sudaki çözünürlüğüne (%35.37) göre, %15 NaOH kullanıldığında elde edilen katı maddenin sudaki çözünürlüğünün (%37.81) arttığı saptanmıştır. Sıcakta, süre arttıkça, moleküllerin kinetik enerjileri ile tepkime hızları artmakta ve bunlara bağlı olarak katı maddenin suda çözünen ürünlere dönüşen miktarları artmaktadır. Baz ile yapılan termokimyasal önışlemden, kullanılan baz miktarının % 10'dan % 15'e artırılması ile katı maddenin suda çözünürlüğünde önemli bir artış sağlanamamaktadır. % 15 kimyasal madde ile yapılan kimyasal ve termokimyasal önışlemlerde, suda çözünürlükte, asidik işlemlerin bazik işlemlerden daha etkin olduğu saptanmıştır (**Şekil 4.1.**). Nişastanın hidrolizinde, asidin baza göre daha etkin oluşu [98] ve bunun sonucu olarak asidik ortamda, katı maddenin sudaki çözünürlüğünün artması şeklinde yorumlanabilir.

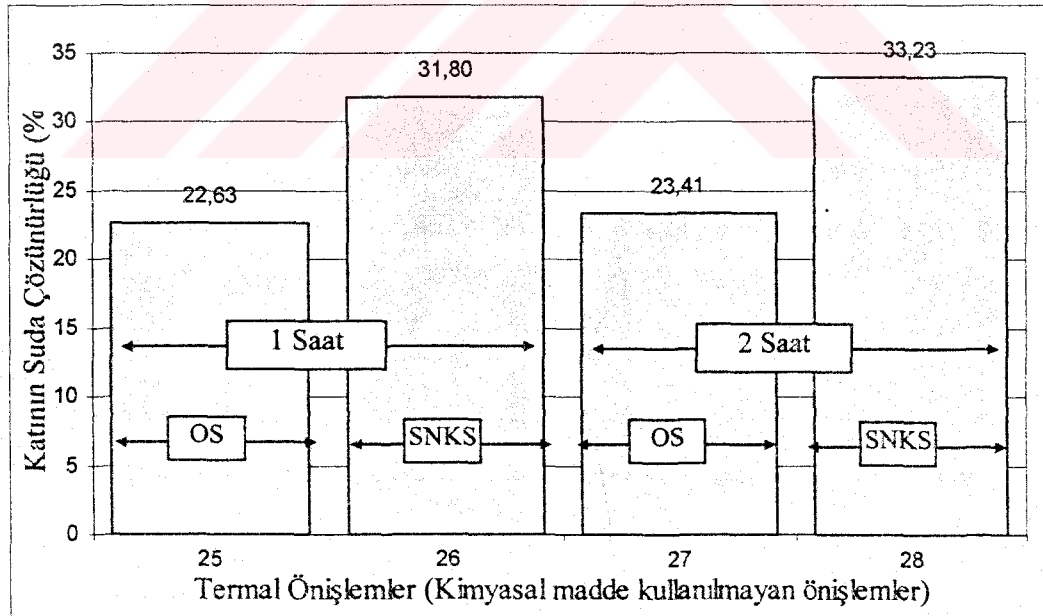
**% 20 NaOH kullanımının suda çözünürlüğe etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik termokimyasal önışlemler ile, 1 saatlik önışlem süresinde, tavuk gübresindeki katı maddenin kütlece % 45.32'si ve 2 saatlik önışlem süresinde katı maddenin % 54.83'ünün suda çözünür hale geldiği saptanmıştır (**Şekil 4.5.**, 20. ve 24. önışlemler). 2 saatlik önışlemden elde edilen kütlece % 54.83'lük suda çözünürlük bulgusu, uygulanan diğer önışlemlerden elde edilen suda çözünürlük bulguları arasında en yüksek bulgu olduğu görülmektedir (**Şekil 4.1.**). Katı maddenin kütlece % 20'si kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan 2 saatlik bazik termokimyasal önışlem ile elde edilen katı maddenin suda çözünürlüğü (% 54.83), kimyasal madde kullanılmadan yapılan önışlemden (**Şekil 4.5.**, 28 nolu

önışlem) elde edilen katı maddenin sudaki çözünürlüğünden (%33,23) % 65 daha fazla olduğu saptanmıştır.

Burada, termokimyasal ön işlemlerin, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğünde en etkili önışlem olduğu görülmektedir. Katı maddenin % 20' i kadar baz kullanılan termokimyasal önışlemler, portakal kabuğu [92,94] ve greyfurt kabuğu [93] ile yapılan çalışmalarda belirtildiği gibi, kaynaklarda elde edilen bulgular da aynı yorumu doğrulamaktadır.

#### 4.2.3. Termal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri

Taze tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarının, kimyasal madde kullanmadan, oda sıcaklığında bekletilmesi ve suyun normal kaynama sıcaklığında kaynatılması ile suda çözünürlük her iki önışlem süresinde de önışlem sıcaklığının artırılması ile artmıştır. Termal önışlemlerle elde edilen tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlükleri Şekil 4.6.'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Termal Önışlemlerin Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Suda Çözünürlüğüne Etkileri

Bir saatlik işlem süresinde, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğü oda sıcaklığında ve suyun normal kaynama sıcaklığında sırasıyla %

22.63 ve % 31.80, iki saatlik önişlem süresinde ise % 23.41 ve % 33.23 olarak saptanmıştır. **Şekil 4.6.**'da görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla moleküllerin kinetik enerjileri ve tepkime hızı artmakta ve buna bağlı olarak, katı maddelerin daha kolay çözünürleşmesi sağlanmaktadır.



### 4.3. ÖNİŞLEMDEN ELDE EDİLEN SULU FAZLARIN ANAEROBİK İŞLEMİNDE SUDA ÇÖZÜNMÜŞ MADDELERİN BİYOGAZ ve METAN ÜRETİM VERİMLERİ

Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde olacak şekilde sulandırılarak hazırlanan sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve % 20'si kadar, sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak yapılan, kimyasal ve termokimyasal önışlemler ile kimyasal madde kullanılmadan yapılan termal önışlemlerden elde edilen sulu fazların biyogaz ve metan verimleri ile üretilen biyogazların metan içerikleri **Çizelge 4.4.**'de verilmiştir. **Şekil 4.7.**'de önışlemlerden elde edilen sulu fazlardan üretilen toplam biyogaz miktarları ve biyogaz üretim verimleri, **Şekil 4.8.**'de, ise toplam metan miktarları ve metan üretim verimleri, **Şekil 4.9.**'da ise önışlem uygulanmış sulu fazlardan üretilen biyogazın metan içerikleri ayrıca verilmiştir. Uygulanan önışlem koşullarına göre, sulu fazların anaerobik işleminde elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri ile ilgili bulgu ve yorumlar, kimyasal, termokimyasal ve termal önışlemler için, kullanılan kimyasal madde türü ve derişimine göre alt başlıklar halinde verilmektedir.

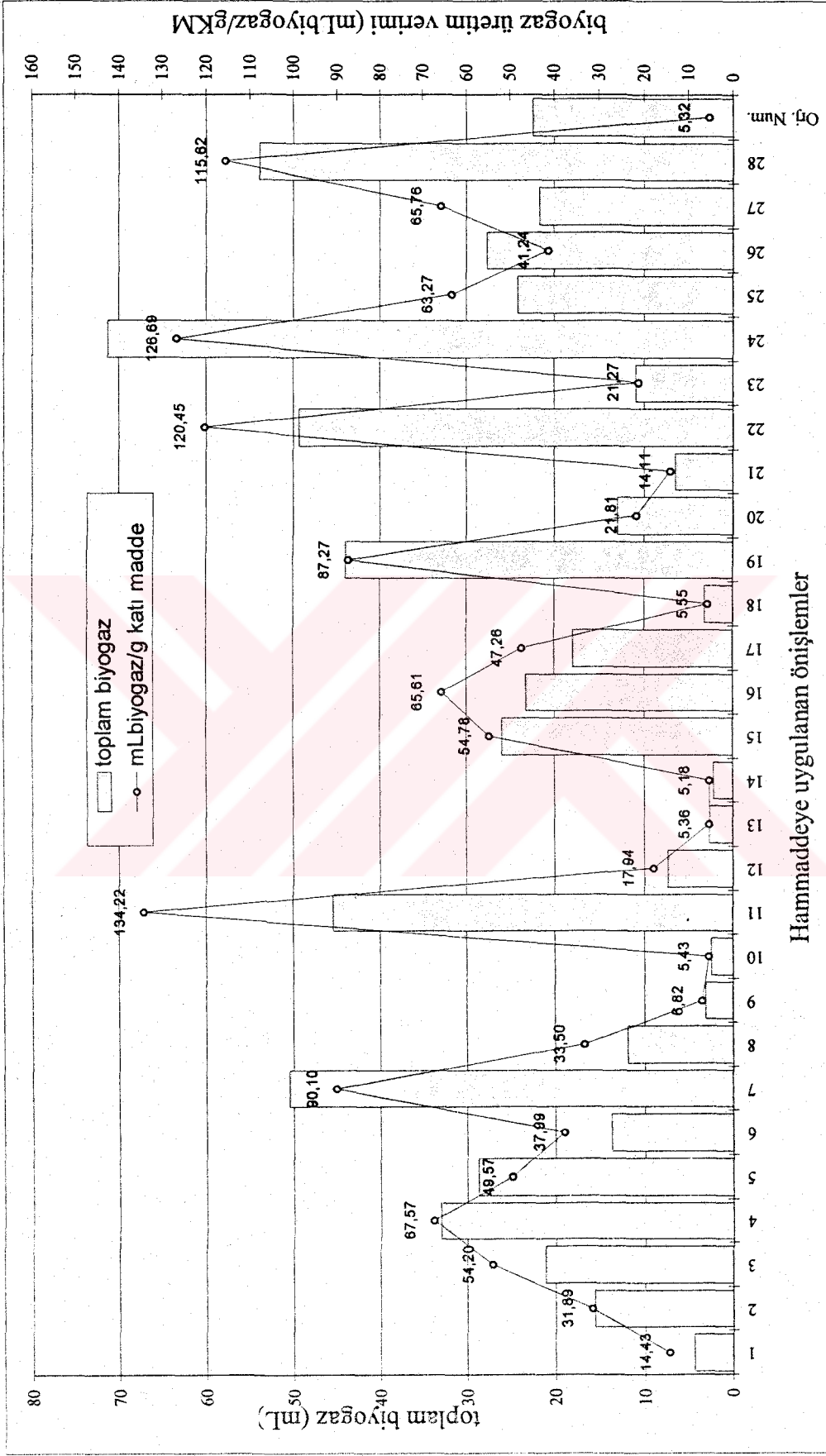
#### 4.3.1. Kimyasal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşlemlerinde Suda Çözünmüş Maddelerin Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri

Oda sıcaklığında, katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve % 20'si kadar asit ( $H_2SO_4$ ) ve baz (NaOH) kullanılarak yapılan kimyasal önışlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminin sonucu elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri ile ilgili bulgular ve yorumları alt başlıklar halinde verilmiştir.

**Çizelge 4.4. Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Saptanan Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri ve Biyogazdaki Metanın Hacimsel Yüzdeleri**

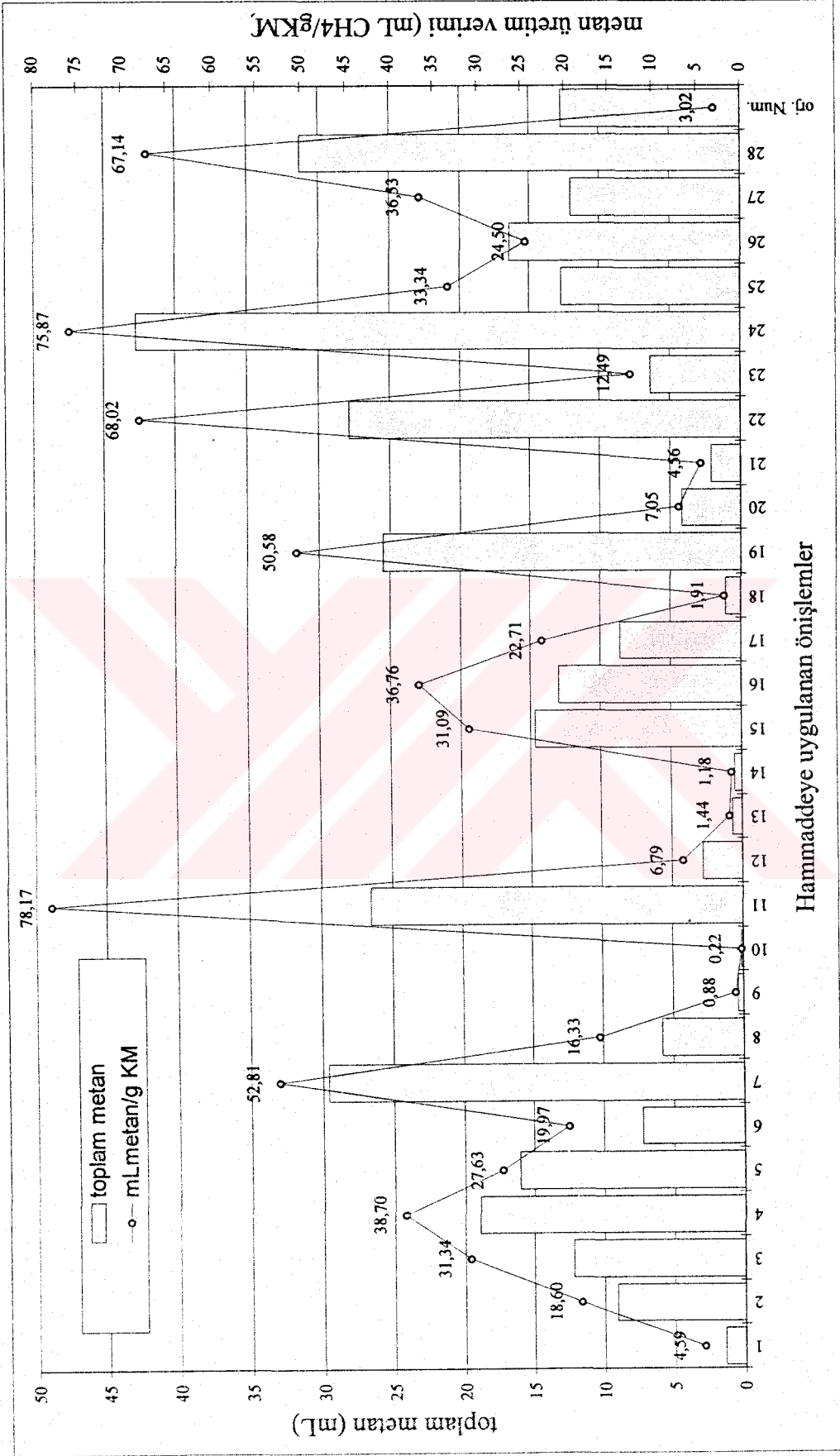
Önişlem No	Toplam Eklenik Biyogaz (mL)	Biyogaz Üretim Verimi mL/Biyogaz/gKM	Toplam Eklenik Metan (mL)	Metan Üretim Verimi (mLCH <sub>4</sub> /gKM)	Hacimsel Metan Yüzdesi (%)
1	4.40	14.43	1.40	4.59	31.82
2	15.60	31.89	9.10	18.60	58.33
3	21.10	54.20	12.20	31.34	57.82
4	33.00	67.57	18.90	38.70	57.27
5	28.70	49.57	16.00	27.63	55.75
6	13.70	37.99	7.20	19.97	52.55
7	50.50	90.10	29.60	52.81	58.61
8	11.90	33.50	5.80	16.33	48.74
9	3.10	6.82	0.40	0.88	12.90
10	2.50	5.43	0.10	0.22	4.00
11	45.50	134.22	26.50	78.17	58.24
12	7.40	17.94	2.80	6.79	37.84
13	2.60	5.36	0.70	1.44	26.92
14	2.20	5.18	0.50	1.18	22.73
15	25.90	54.78	14.70	31.09	56.76
16	23.20	65.61	13.00	36.76	56.03
17	17.90	47.26	8.60	22.71	48.04
18	3.20	5.55	1.10	1.91	34.38
19	44.00	87.27	25.50	50.58	57.95
20	13.00	21.81	4.20	7.05	32.31
21	6.50	14.11	2.10	4.56	32.31
22	49.40	120.45	27.90	68.02	56.48
23	10.90	21.27	6.40	12.49	58.72
24	71.30	126.69	42.70	75.87	59.89
25	24.10	63.27	12.70	33.34	52.70
26	27.60	41.24	16.40	24.50	59.42
27	21.60	65.76	12.00	36.53	55.56
28	53.90	115.62	31.30	67.14	58.07
Orj.Num.	22.40	5.32	12.70	3.02	56.70





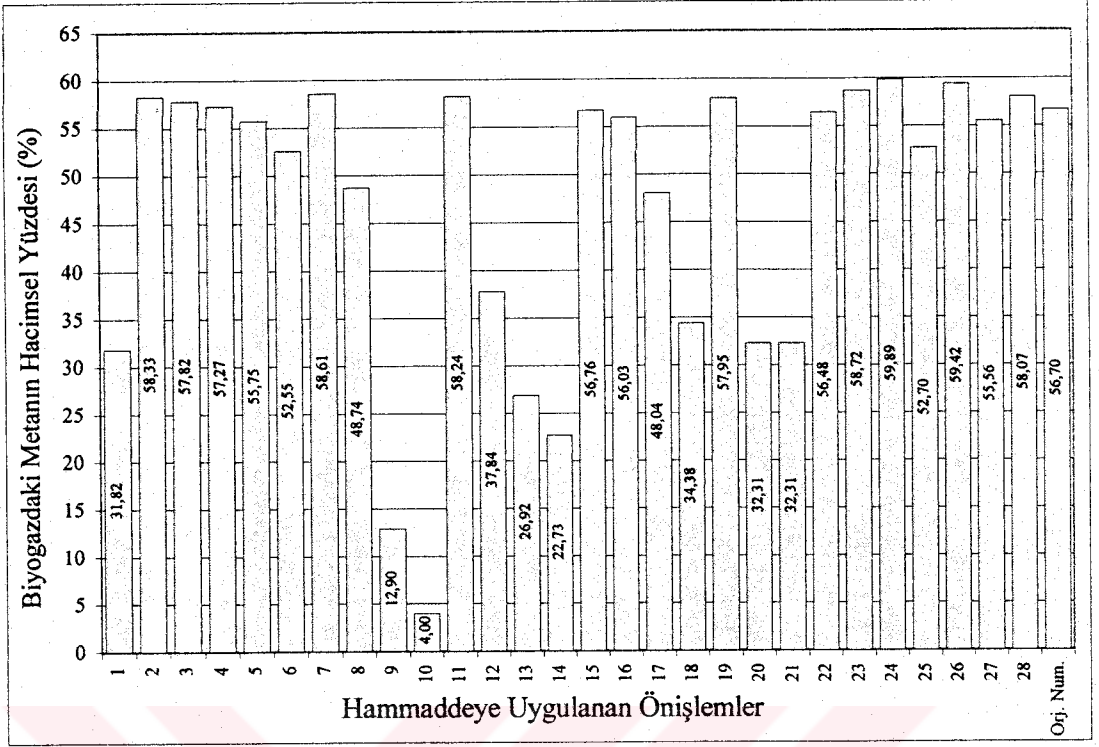
Hammaddeye uygulanan önlemler

Şekil 4.7. Önlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri



Hammeddeye uygulanan ön işlemler

Şekil 4.8. Ön işlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri



Şekil 4.9. Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogazın Hacimce Yüzde Metan İçerikleri

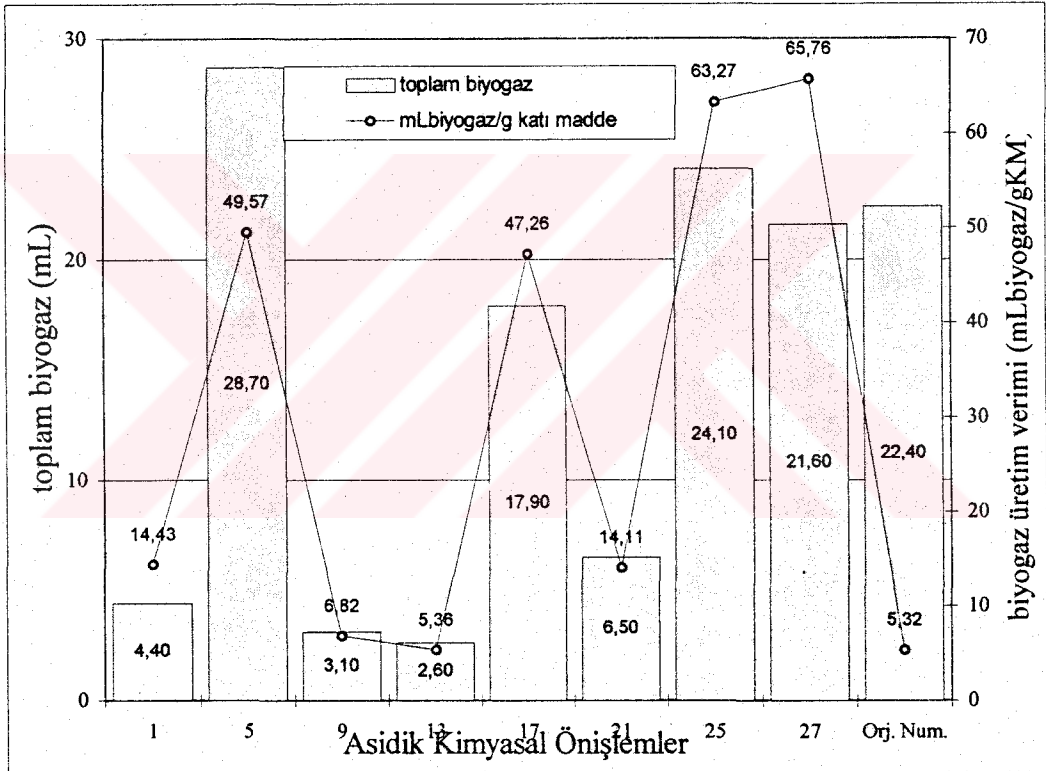
4.3.1.1. Asidik kimyasal önışlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işlemlerinde suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri

Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve %20' si kadar asit ( $H_2SO_4$ ) eklenip, oda sıcaklığında bir ve ikişer saat bekletilerek yapılan önışlemlerden elde edilen sulu fazların, anaerobik işlemin sonucu elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri ile ilgili bulgular ve yorumları, kullanılan kimyasal madde miktarına göre alt başlıklar halinde verilmiştir.

**% 10  $H_2SO_4$  kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10'u kadar asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılarak yapılan asidik kimyasal önışlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 14.43 mLBiyogaz/gKM ve 4.59 mL $CH_4$ /gKM, 2 saatlik önışlemden elde edilen suda

çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 49.57 mLbiyogaz/gKM ve 27.63 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.10., Şekil 4.11. 1. ve 5. önışlemler) olduğu saptanmıştır.

Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önışlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde ise, 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla, 63.27 mLbiyogaz/gKM ve 33.34 mLCH<sub>4</sub>/gKM ve 2 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 65.76 mLbiyogaz/gKM ve 36.53 mLCH<sub>4</sub>/gKM olduğu saptanmıştır (Şekil 4.10., Şekil 4.11., 25. ve 27. önışlemler).



Şekil 4.10. Asidik Kimyasal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri

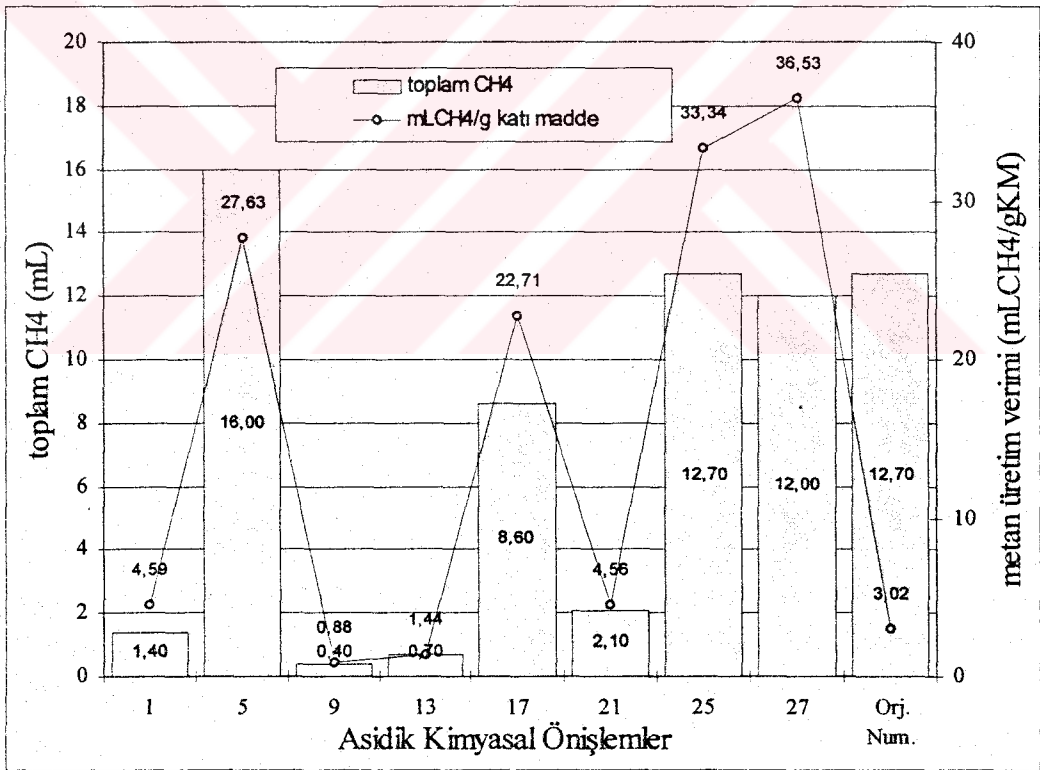
Şekil 4.10., Şekil 4.11.'de görüldüğü gibi, kimyasal madde kullanılmadan yapılan önışlemlerden elde edilen sulu fazlardaki katı maddenin anaerobik işleminden elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri, % 10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak yapılan kimyasal önışlemden elde edilen sulu fazlardaki katı maddenin anaerobik işleminden elde edilen biyogaz ve metan üretim verimlerinden yüksek olduğu

saptanmıştır. Burada kimyasal madde kullanılmadan yapılan önışlemlerle katı maddenin suda çözünmüş hale dönüşen yapılarının biyolojik parçalanabildiği, asidik kimyasal önışlem ile suda çözünen katıların ise biyolojik parçalanmasının biyogaz ve metan verimlerinde etkin olmadığı anlaşılmaktadır. Bunun da kullanılan kimyasal maddedeki  $SO_4^{2-}$  iyonlarının indirgenmesi sonucu oluşan  $H_2S$  toksiditesinden kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanabilir. Ancak bu tür yorumların, anaerobik biyolojik parçalanma süresince oluşan maddelerin yapıları ileri analizlerle belirlenerek desteklenmesi gerekmektedir. % 10  $H_2SO_4$  kullanılarak 2 saat sürede yapılan kimyasal önışlemden elde edilen sulu fazlardaki katı maddenin anaerobik işleminden elde edilen biyogaz ve metan üretim verimlerinin, 1 saat sürede yapılan önışlemden elde edilen biyogaz ve metan üretim verimlerinden yüksek olmasının nedeninin ise asidik ortamda suda çözüner forma dönüşen nişastanın anaerobik parçalanmasından kaynaklanmaktadır.

**% 15  $H_2SO_4$  kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 15'i kadar asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılarak yapılan asidik kimyasal önışlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 6.82 mLBiyogaz/gKM ve 0.88 mL $CH_4$ /gKM, 2 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 5.36 mLBiyogaz/gKM ve 1.44 mL $CH_4$ /gKM (Şekil 4.10., Şekil 4.11. 9 ve 13. işlemler) olduğu saptanmıştır. Burada da kullanılan  $H_2SO_4$  miktarındaki artıştan kaynaklanan yüksek derişimde  $SO_4^{2-}$  iyonlarının indirgenmesi sonucu oluşan  $H_2S$  toksiditesinden söz etmek mümkündür. Asidik önışlemlerin hepsinden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminden elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri incelendiğinde (Şekil 4.7., Şekil 4.8.),  $H_2S$  toksiditesinin, % 15  $H_2SO_4$  kullanılan önışlemlerde en etkin olduğu görülmektedir.

**% 20  $H_2SO_4$  kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılarak yapılan asidik kimyasal

önışlemeden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önışlemeden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 47.26 mLBiyogaz/gKM ve 22.71 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önışlemeden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 14.11 mLBiyogaz/gKM ve 4.56 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.10., Şekil 4.11.) olduğu saptanmıştır. Önışlem süresi arttıkça, katı maddeden oluşan suda çözünen maddelerin anaerobik parçalanabilirliği sınırlı yürümekte ve metan ve biyogaz verimi düşük olmaktadır. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyon derişiminin yüksek oluşu, biyolojik aktivitenin düşmesine yol açabilecektir. Ancak ortamda biyolojik aktivitenin oluşu, seçici bazı enzimlerin tepkimelere girerek metana dönüşümü gerçekleştirebileceklerdir. Kimyasal işlem süresinin uzaması, katı maddenin suda çözünlüğünü artırmasına karşın, suda çözünenlerin biyogaza dönüşümünde etkin olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.11. Asidik Kimyasal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri

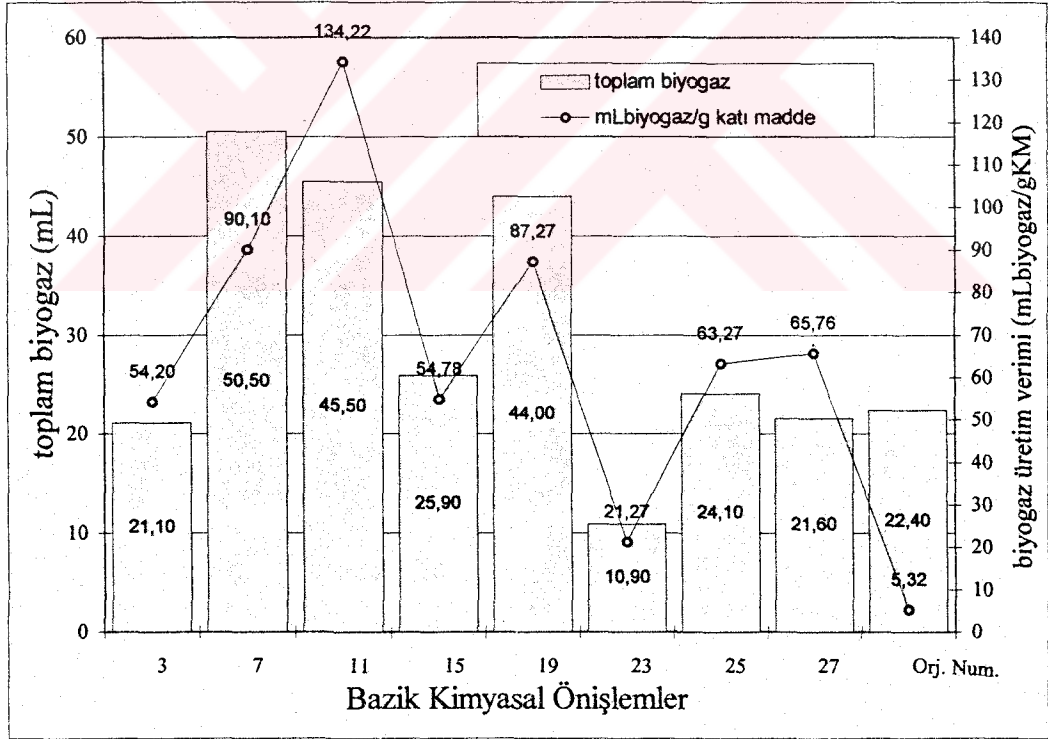
4.3.1.2. Bazik kimyasal önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işlemlerinde suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri

Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve %20' si kadar baz (NaOH) eklenip, oda sıcaklığında bir ve ikişer saat bekletilerek yapılan önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminin sonucu elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri ile ilgili bulgular ve yorumları, kullanılan kimyasal madde miktarına göre alt başlıklar halinde verilmiştir.

**% 10 NaOH kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10'u kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik kimyasal önişlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önişlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 54.20 mLbiyogaz/gKM ve 31.34 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önişlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 90.10 mLbiyogaz/gKM ve 52.81 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.) olduğu saptanmıştır. Önişlem süresinin artması, suda çözünen madde miktarını ve bu maddelerin de anaerobik biyolojik parçalanabilen maddelere dönüşen miktarlarının artmasını sağlamaktadır. Bu nedenle biyogaz ve metan verimleri de artmaktadır. %10 NaOH kullanımının anaerobik işleminde prosesi durdurma yönünde ters bir etki göstermediği de bulgulardan görülmektedir. Kullanılan NaOH in tamamı sulu faza geçemeyeceği, katı madde içerisinde bulunan selüloz elyafları arasında tutunabileceğinden [99] sodyum iyonunun müsaade edilebilen derişimlerde sulu fazda kalabildiğini göstermektedir.

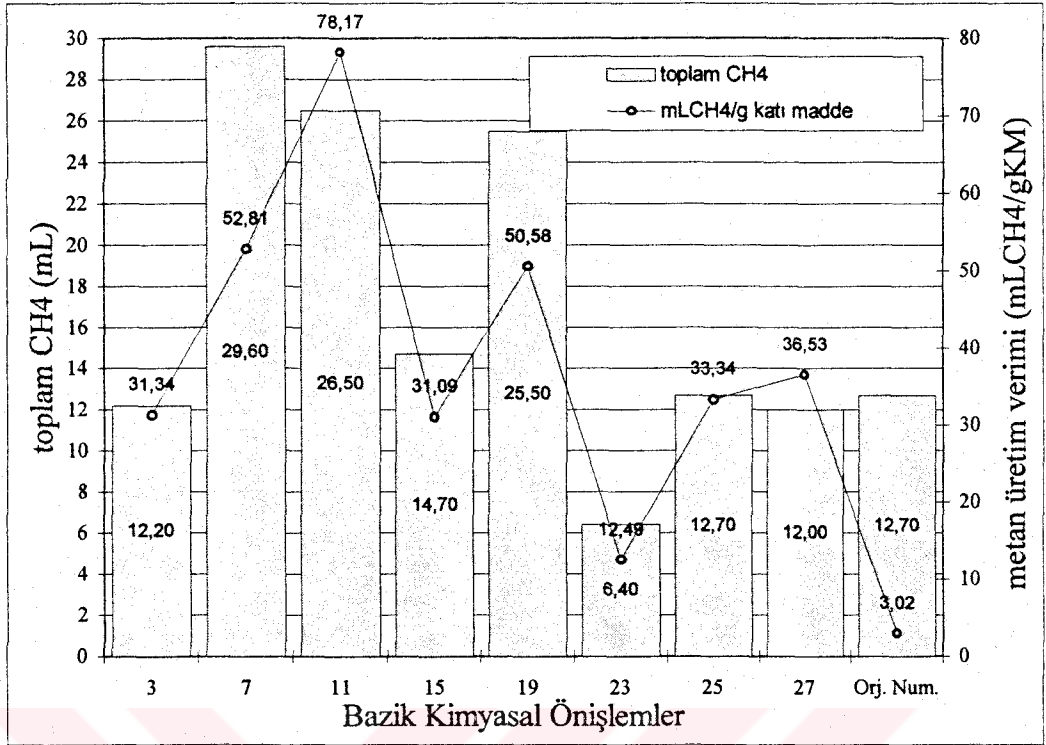
Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde ise, 1 saatlik önişlemlerden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla, 63.27 mLbiyogaz/gKM ve 33.34 mLCH<sub>4</sub>/gKM ve 2 saatlik önişlemlerden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 65.76 mLbiyogaz/gKM ve 36.53 mLCH<sub>4</sub>/gKM, olduğu saptanmıştır (Şekil 4.2., 25. ve 27.

önüşlemler). 1 saatlik önışlem süresinde, suda çözünen maddelerin biyolojik parçalanabilen maddelere dönüşeceği ve biyolojik parçalanabilen madde miktarının artacağından kaynaklanmaktadır. Oysa, kimyasal madde kullanıldığında aynı sürede, suda çözünen madde miktarında artış olurken, biyogaz ve metan verimleri düşük olmaktadır. Bu da sodyum iyonunun seçici olarak bazı moleküllerin biyolojik parçalanmasını engellemesi şeklinde yorumlanabilir. 2 saatlik önışlemden elde edilen sulu fazdaki maddelerin metan verimi 36.53 mLCH<sub>4</sub>/gKM, olurken, kimyasal madde kullanılan önışlemden elde edilen sulu fazlardaki maddelerin metan veriminin 52.81 mLCH<sub>4</sub>/gKM olduğu görülmektedir. 2 saatlik kimyasal önışlemin, hem katı maddenin suda çözünen miktarının artışına, hem de suda çözünen maddelerin biyogaza dönüşen yapıların artmasına yol açtığı şeklinde yorumlanabilir.



**Şekil 4.12.** Bazık Kimyasal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri





**Şekil 4.13.** Bazik Kimyasal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri

**% 15 NaOH kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımına, karışımındaki katı maddenin kütlece % 15'i kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik kimyasal önışlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri sırasıyla 134.22 mLbiyogaz/gKM ve 78.17 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 17.94 mLbiyogaz/gKM ve 6.79 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.12., Şekil 4.13.) olduğu saptanmıştır. Kullanılan NaOH miktarının artması, suda çözünen madde miktarını ile bu maddelerin de anaerobik biyolojik parçalanabilen maddelere dönüşen miktarlarının artmasını sağlamaktadır. %15 NaOH kullanılan 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünen maddelerin biyolojik olarak parçalanabilen yapıda oldukları, %15 NaOH kullanılan 1 saatlik önışlemden elde edilen biyogaz ve metan üretim veriminin, tüm sulu fazlardan elde edilen biyogaz ve metan üretim veriminden yüksek olmaktadır. Ayrıca kullanılan NaOH'ın, 1 saatlik sürede anaerobik işlemden prosesi durdurma yönünde ters bir etki göstermediği de

bulgularından görülmektedir (Şekil 4.7., Şekil 4.8.). Kullanılan NaOH in 1 saatlik işlemde, tamamının sulu faza geçemeyeceği, katı madde içerisinde bulunan selüloz elyafları arasında tutunabileceğinden [99] sodyum iyonunun müsaade edilebilen derişimlerde sulu fazda kalabildiğini göstermektedir. Ancak 2 saatlik sürede ise işlem süresindeki artışın suda çözülmüş madde miktarını artırmasına karşın biyogaz ve metan üretim veriminin düşük olmaktadır. Bunun nedeninin ise kullanılan NaOH'ın suda çözünerek sodyum iyon derişimini artırması, böylece sistemde biyolojik faaliyetleri durdurucu bir etkinin görülmesi şeklinde yorumlanabilmektedir.

**% 20 NaOH kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlice % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlice % 20'si kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik kimyasal önışlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 87.27 mLBiyogaz/gKM ve 50.58 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önışlemden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 21.27 mLBiyogaz/gKM ve 12.49 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.12., Şekil 4.13.) olduğu saptanmıştır. Katı maddenin % 15'inden fazla derişimde NaOH kullanılması ile biyogaz ve metan üretim verimlerinde düşüş görülmektedir. Bu da kullanılan NaOH'ın suda çözünerek sodyum iyon derişimini artırması, böylece sistemde sodyum iyonlarının, biyolojik faaliyetleri durdurucu etkisinden kaynaklanmaktadır. Sodyum iyonlarının anaerobik mikroorganizmalar üzerinde toksik etki yaptığı bilinmektedir [84]. Bu etkinin 1 saatlik işlemde görülmesinin nedeni, 1 saatlik işlemde, kullanılan NaOH'ın tamamının sulu faza geçemeyip, katı madde içerisinde bulunan selüloz elyafları arasında tutunabileceği [99] ve sodyum iyonunun müsaade edilebilen derişimlerde sulu fazda kalabildiği, 2 saatlik sürede ise kullanılan NaOH'ın suda çözünerek sodyum iyon derişimini artırarak sistemde biyolojik faaliyetleri durdurucu bir etki görülmesidir.

#### 4.3.2. Termokimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşlemlerinde Suda Çözünmüş Maddelerin Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri

Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin % 10, % 15 ve % 20'si kadar asit ( $H_2SO_4$ ) ve baz (NaOH) kullanılarak, suyun normal kaynama sıcaklığında, bir ve ikişer saat kaynatılarak yapılan termokimyasal önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminin sonucu elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri ile ilgili bulgular ve yorumları alt başlıklar halinde incelenmiştir

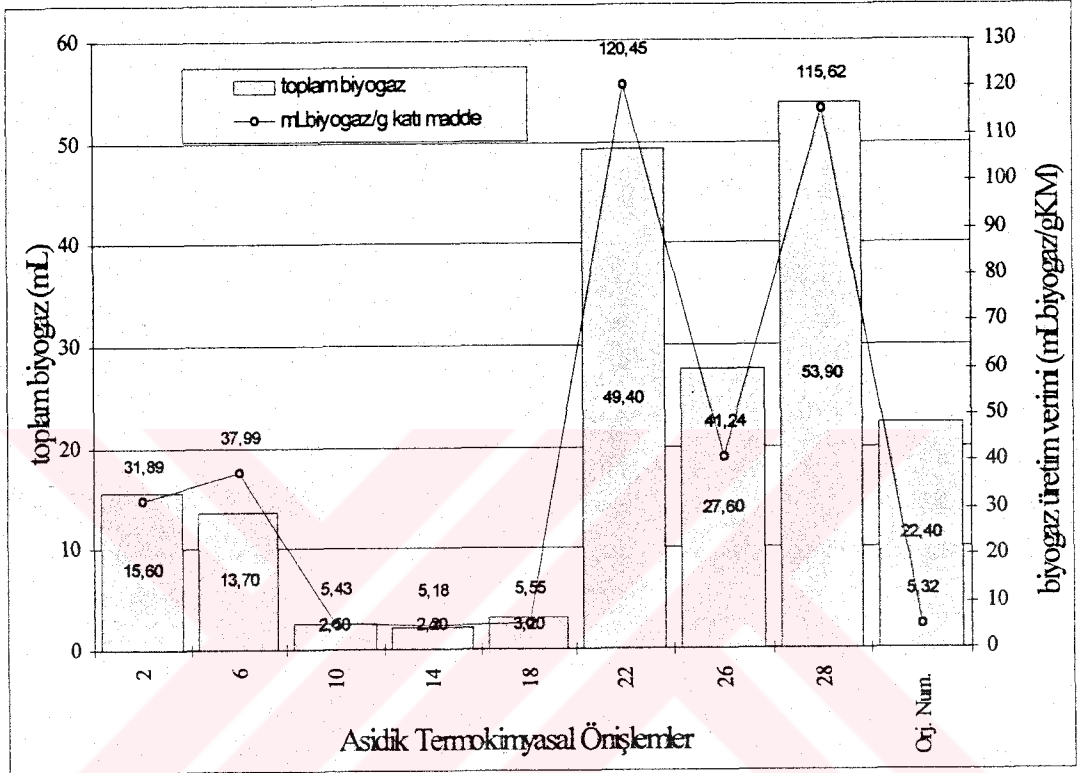
4.3.2.1. Asidik termokimyasal önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işlemlerinde suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri

Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve %20' si kadar asit ( $H_2SO_4$ ) eklenip, suyun normal kaynama sıcaklığında bir ve ikişer saat bekletilerek yapılan önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminin sonucu elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri ile ilgili bulgular ve yorumları, kullanılan kimyasal madde miktarına göre alt başlıklar halinde verilmiştir.

**% 10  $H_2SO_4$  kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10'u kadar asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılarak yapılan asidik termokimyasal önişlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, saatlik önişlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 31.89 mL Biyogaz/gKM ve 18.60 mL  $CH_4$ /gKM, 2 saatlik önişlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 37.99 mL Biyogaz/gKM ve 19.97 mL  $CH_4$ /gKM (Şekil 4.14., Şekil 4.15.) olduğu saptanmıştır.

Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde ise, 1 saatlik önişlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin

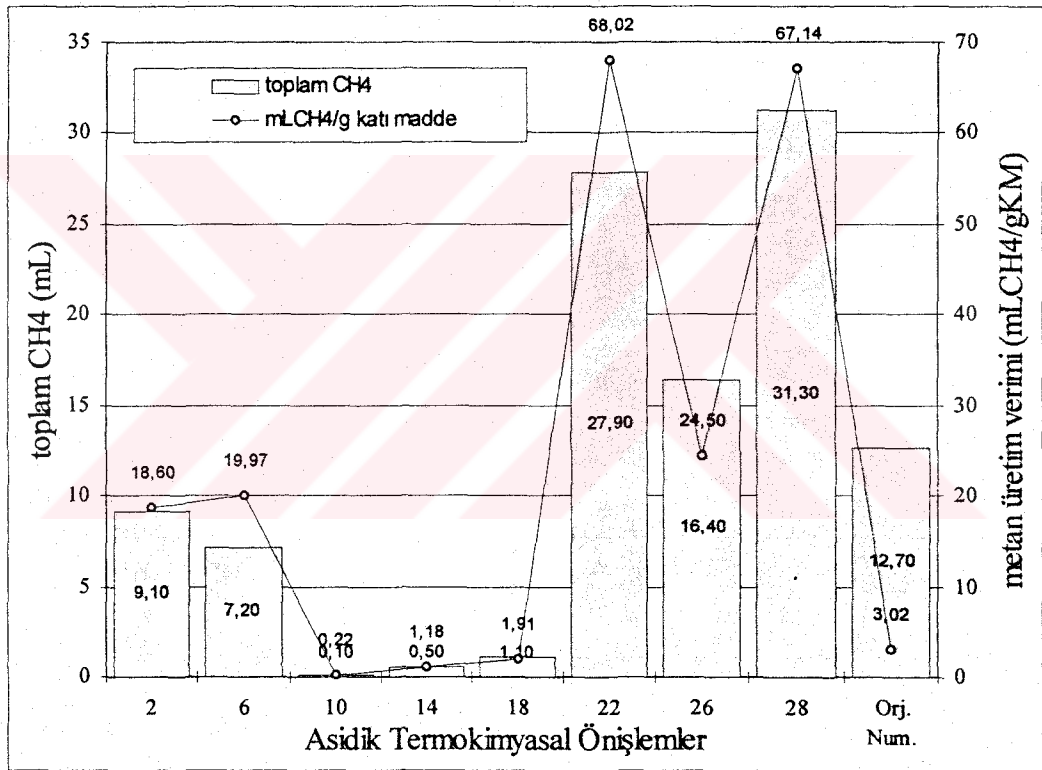
biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla, 63.27 mLBiyogaz/gKM ve 33.34 mLCH<sub>4</sub>/gKM ve 2 saatlik önişlemeden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 65.76 mLBiyogaz/gKM ve 36.53 mLCH<sub>4</sub>/gKM, olduğu saptanmıştır. (Şekil 4.2., 25. ve 27. önişlemler).



Şekil 4.14. Asidik Termokimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri

Şekil 4.14., Şekil 4.15.'de görüldüğü gibi, kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden elde edilen sulu fazlardaki katı maddenin anaerobik işleminden elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri, % 10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak yapılan termokimyasal önişlemden elde edilen sulu fazlardaki katı maddenin anaerobik işleminden elde edilen biyogaz ve metan üretim verimlerinden yüksek olduğu saptanmıştır. Burada kullanılan kimyasal maddedeki SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyonlarının indirgenmesi sonucu oluşan H<sub>2</sub>S'in biyolojik faaliyetleri durdurucu etkisinden kaynaklanmaktadır.

**% 15 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlege % 15'i kadar asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) kullanılarak yapılan asidik termokimyasal önişlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önişlemden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 5.43 mLBiyogaz/gKM ve 0.22 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önişlemden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 5.18 mLBiyogaz/gKM ve 1.18 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.14., Şekil 4.15.) olduğu saptanmıştır.



**Şekil 4.15.** Asidik Termokimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri

Şekil 4.14., Şekil 4.15.'de görüldüğü gibi, %15 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılan asidik kimyasal önişlemlerde olduğu gibi asidik termokimyasal önişlemlerde de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> miktarındaki artıştan kaynaklanan yüksek derişimde SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyonlarının indirgenmesi sonucu oluşan H<sub>2</sub>S toksiditesi biyogaz ve metan üretim verimlerinde belirgin bir şekilde etkili olmaktadır. Tüm sulu fazların anaerobik işleminde, suda çözülmüş

maddelerin biyogaz ve metan verimleri incelendiğinde (Şekil 4.7., Şekil 4.8.), H<sub>2</sub>S toksiditesinin, özellikle % 15 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılan kimyasal ve termokimyasal önişlemlerde etkin olduğu görülmektedir.

**% 20 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) kullanılarak yapılan asidik termokimyasal önişlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önişlemden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 5.55 mLBiyogaz/gKM ve 1.91 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önişlemden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 120.25 mLBiyogaz/gKM ve 68.02 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.14., Şekil 4.15.) olduğu saptanmıştır. Önişlem süresi arttıkça, katı maddeden oluşan suda çözünen maddelerin anaerobik parçalanabilirliği yürümekte ve metan ve biyogaz verimi yüksek olmaktadır. % 20 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak yapılan 1 saatlik önişlemden SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyon derişiminin yüksek oluşu, biyolojik aktivitenin düşmesine yol açmaktadır. Ancak 2 saatlik sürede biyogaz ve metan üretim veriminin yüksek olması, suda çözünlüğün yüksek olduğu bu önişlemden çözünen maddelerin parçalanmasını sağlayan seçici bazı enzimlerin tepkimelere girerek metana dönüşümünü gerçekleştirmelerinden kaynaklanmaktadır. Ancak bu tür yorumların ileri analizlerle, anaerobik işlem süresince, oluşan maddelerin tanımlanması ile desteklenmesi gerekmektedir.

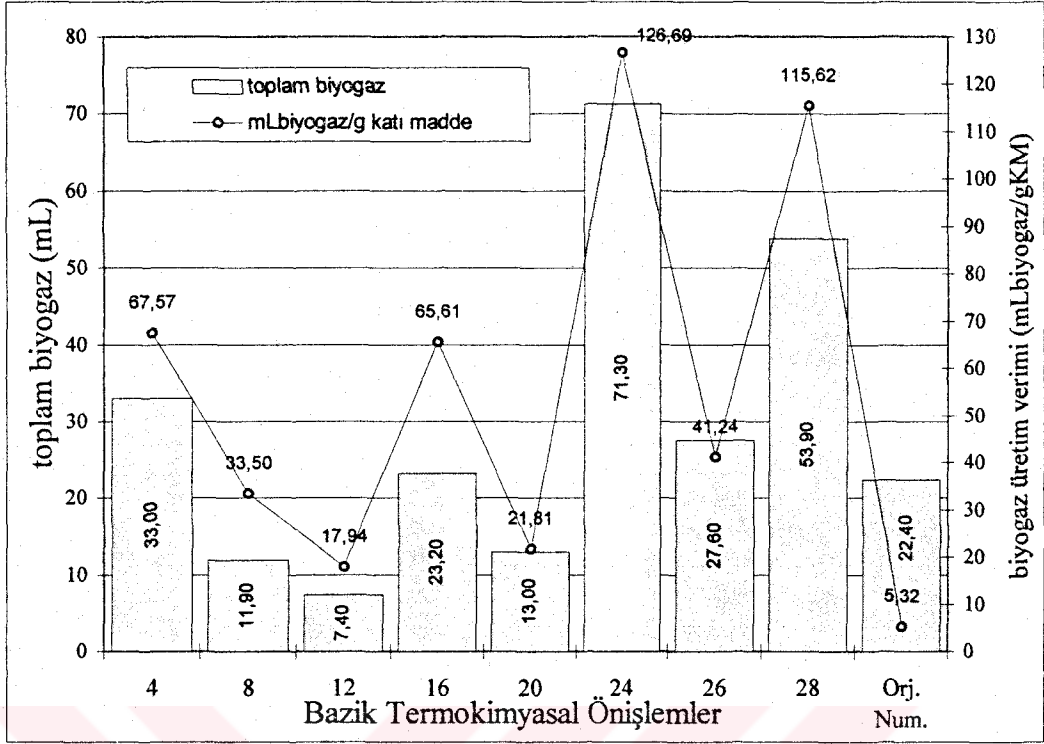
4.3.2.2. Bazik termokimyasal önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işlemlerinde suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri

Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve %20' si kadar baz (NaOH) eklenip, suyun normal kaynama sıcaklığında bir ve ikişer saat bekletilerek yapılan önişlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işlemi sonucu elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri ile ilgili bulgular ve yorumları, kullanılan kimyasal madde miktarına göre alt başlıklar halinde verilmiştir.

**% 10 NaOH kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlege % 10'u kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik termokimyasal önışlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 67.57 mLBiyogaz/gKM ve 38.70 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 33.50 mLBiyogaz/gKM ve 16.33 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.16., Şekil 4.17.) olduğu saptanmıştır.

Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önışlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde ise, 1 saatlik önışlemlerden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla, 63.27 mLBiyogaz/gKM ve 33.34 mLCH<sub>4</sub>/gKM ve 2 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 65.76 mLBiyogaz/gKM ve 36.53 mLCH<sub>4</sub>/gKM, olduğu saptanmıştır. (Şekil 4.7., Şekil 4.8. 25. ve 27. önışlemler).

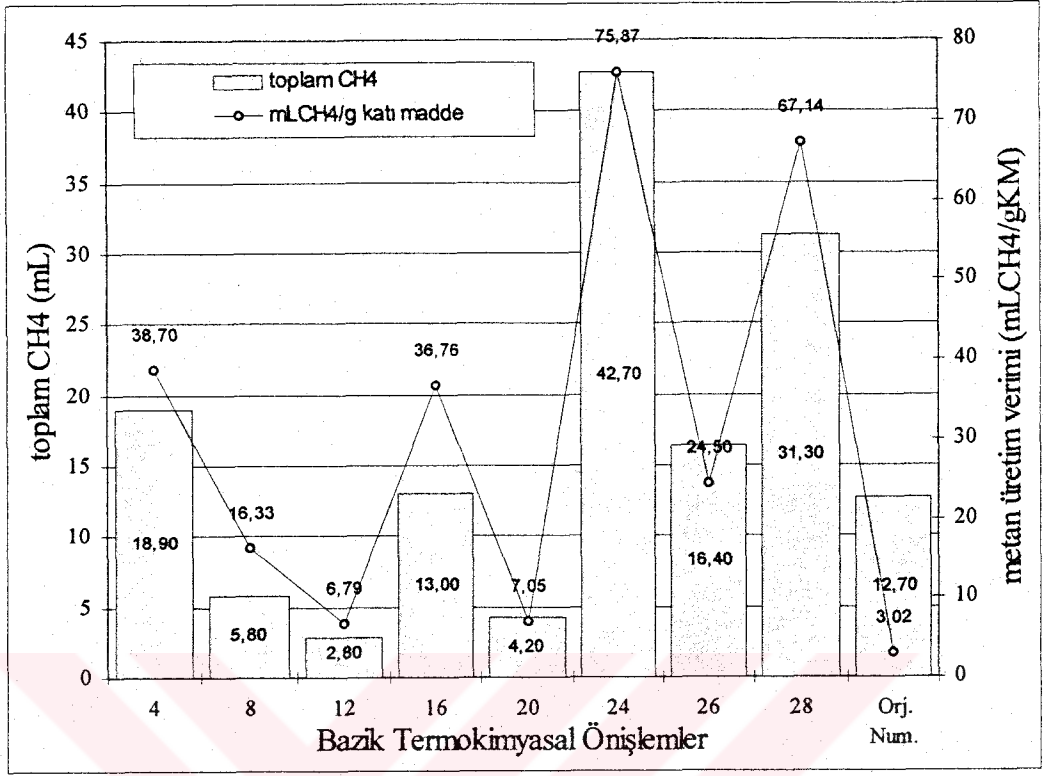
Şekil 4.16. ve Şekil 4.17.'de görüldüğü gibi % 10 NaOH kullanılarak 1 saat sürede yapılan termokimyasal önışlemden edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri, kimyasal madde kullanılmadan aynı sürede yapılan, termal önışlemden edilen biyogaz ve metan üretim verimlerinden yüksektir. Ancak 2 saatlik işlemden biyogaz ve metan üretim verimleri düşmektedir. Aynı miktarda NaOH kullanılarak oda sıcaklığında yapılan kimyasal önışlemlerden elde edilen biyogaz ve metan verimleri (Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.) ile suyun normal kaynama sıcaklığında yapılan önışlemden elde edilen biyogaz ve metan verimleri karşılaştırıldığında, sıcaklık artışı ile sodyum iyonlarının toksik etkilerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni ise kullanılan NaOH in oda sıcaklığında, katı madde içerisinde bulunan selüloz elyafları arasında tutunarak, sulu fazdaki sodyum iyon derişiminin müsaade edilebilen derişimlerde kalabilmesi [99], yüksek sıcaklıklarda ise tutunan NaOH'ın suda çözünerek sulu fazdaki sodyum iyon derişimini artırmasıdır. Bu da sodyum iyonlarının seçici olarak bazı moleküllerin biyolojik parçalanmasını engellemesi şeklinde yorumlanabilir.



**Şekil 4.16.** Bazik Termokimyasal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri

**% 15 NaOH kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 15'i kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik termokimyasal önışlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 17.94 mL Biyogaz/gKM ve 6.79 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 65.61 mL Biyogaz/gKM ve 36.76 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.16., Şekil 4.17.) olduğu saptanmıştır. Burada, katı maddenin % 15'i kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazik termokimyasal önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri, işlem süresi artışında artış göstermektedir. Bunun nedeni, 1 saatlik işlem süresinde oluşan toksik bileşiklerin, iki saatlik sürede termal olarak parçalanarak, biyolojik parçalanabilir maddelere dönüşmesidir. Ancak % 15 NaOH kullanılarak yapılan termokimyasal önışlemlerde, kullanılan NaOH'ın çözünerek sulu fazdaki sodyum iyon derişimini artırdığı, bunun da biyolojik faaliyetleri olumsuz etkilediği görülmektedir.





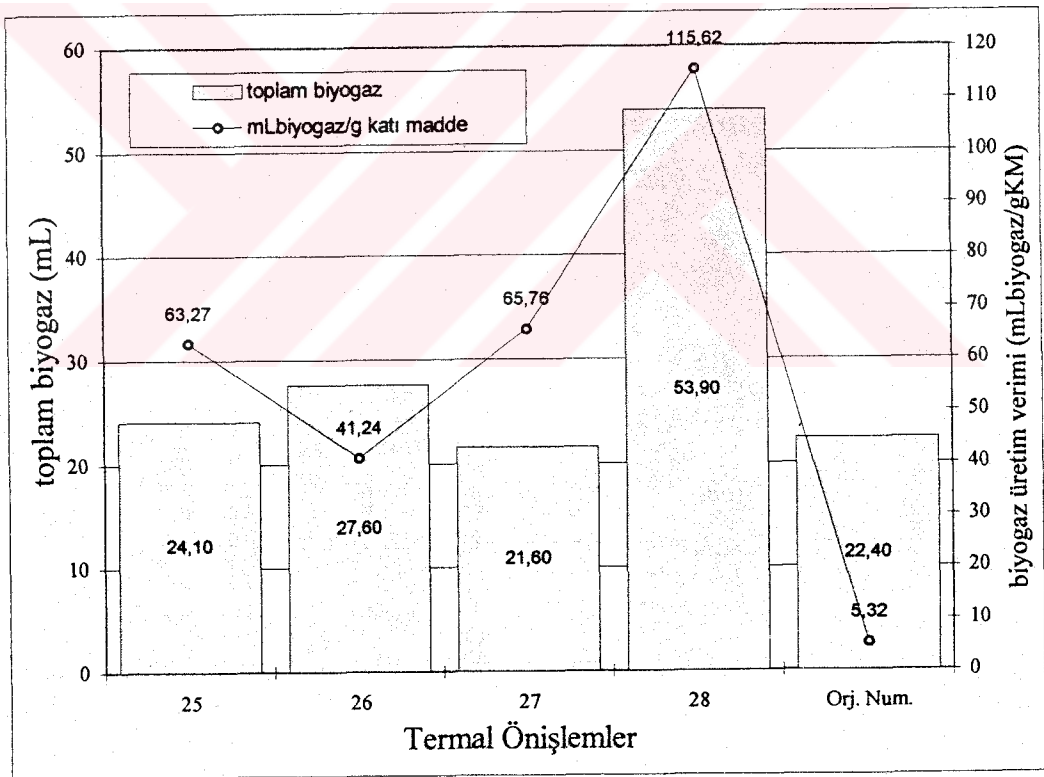
**Şekil 4.17.** Bazık Termokimyasal Önişlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri

**% 20 NaOH kullanımının biyogaz üretim verimine etkileri:** Tavuk gübresinin, kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazık termokimyasal önişlemden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminde, 1 saatlik önişlemden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 21.81 mLBiyogaz/gKM ve 4.56 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önişlemden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 120.45 mLBiyogaz/gKM ve 68.02 mLCH<sub>4</sub>/gKM (Şekil 4.16., Şekil 4.17.) olduğu saptanmıştır. Burada, katı maddenin % 20'si kadar baz (NaOH) kullanılarak yapılan bazık termokimyasal önişlemden elde edilen suda çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri, 1 saatlik işlem süresinde kullanılan NaOH'dan kaynaklanan biyolojik faaliyetleri durdurucu etkisinden dolayı düşük olurken, 2 saatlik işlem süresinde ise işlem süresindeki artışla, toksik etki yapan bu bileşiklerin biyolojik olarak parçalanabilen yapıya dönüşerek, anaerobik

işlemlerde biyogaza dönüşmesidir. Ayrıca, 2 saatlik işlem süresinde suda çözülmüş maddelerin fazla oluşu (Şekil 4.1.), çözülmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin yüksek olmasını sağlamaktadır.

#### 4.3.3. Termal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşlemlerinde Suda Çözülmüş Maddelerin Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri

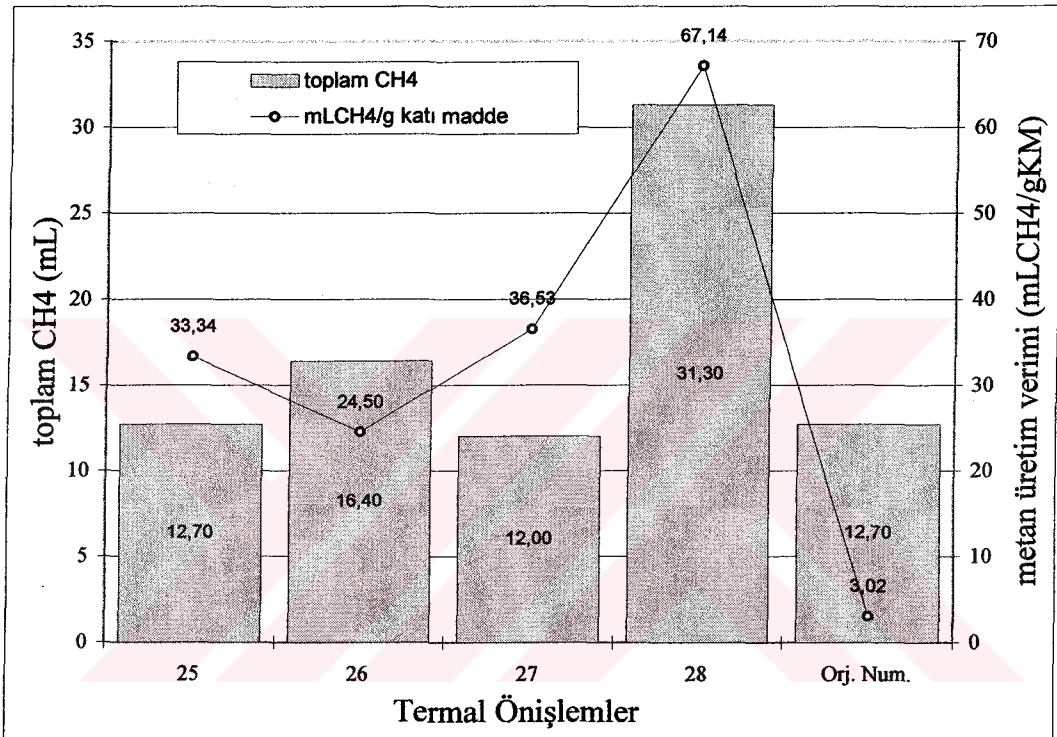
Taze tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarının, kimyasal madde kullanmadan, oda sıcaklığında bekletilmesi ve suyun normal kaynama sıcaklığında kaynatılması ile yapılan termal önışlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminin sonucu elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri ile ilgili bulgular ve yorumları, uygulanan önışlem sıcaklığına göre verilmiştir.



Şekil 4.18. Termal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Biyogaz Miktarları ve Biyogaz Üretim Verimleri

Taze tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarının, kimyasal madde kullanmadan, oda sıcaklığında bekletilmesi ile yapılan

önışlemlerden elde edilen sulu fazlardan, elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri, 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 63.27 mLBiyogaz/gKM ve 33.34 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 65.76 mLBiyogaz/gKM ve 36.53 mLCH<sub>4</sub>/gKM olduğu saptanmıştır (Şekil 4.18., Şekil 4.19.).



**Şekil 4.19.** Termal Önışlemlerden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Metan Miktarları ve Metan Üretim Verimleri

Taze tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarının, kimyasal madde kullanmadan, suyun normal kaynama sıcaklığında kaynatılması ile yapılan termal önışlemlerden elde edilen sulu fazların anaerobik işleminden elde edilen biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise 1 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla 41.24 mLBiyogaz/gKM ve 24.50 mLCH<sub>4</sub>/gKM, 2 saatlik önışlemden elde edilen suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin ise sırasıyla 115.62 mLBiyogaz/gKM ve 67.14 mLCH<sub>4</sub>/gKM olduğu saptanmıştır (Şekil 4.18., Şekil 4.19.).

Kimyasal madde kullanılmadan oda sıcaklığında yapılan önişlemlerde, işlem süresi arttıkça katı maddenin suda çözünürlüğünün arttığı görülmektedir (**Şekil 4.1.**). Ancak, **Şekil 4.18.** ve **Şekil 4.19.**'da görüldüğü gibi oda sıcaklığında yapılan önişlemlerde, 1 saatlik işlemde elde edilen suda çözünürlüğün 2 saatlik işlemde elde edilen suda çözünürlükten daha düşük olmasına karşın, 1 saatlik işlemde suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimleri, 2 saatlik işlemde suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinden yüksek olmaktadır.

Bunun nedeni, oda sıcaklığında yapılan önişlemlerde işlem süresi arttıkça biyolojik olarak parçalanmayan maddelerinde suda çözünür hale dönüşmesidir. Bununla beraber biyolojik olarak parçalanamayan bu maddeler, işlem sıcaklığının artmasıyla, biyolojik olarak parçalanabilen maddelere dönüşmektedir. Bu da suyun normal kaynama sıcaklığında yapılan önişlemlerde, suda çözünmüş maddelerin biyogaz ve metan üretim verimlerinin yüksek olmasından anlaşılmaktadır.

#### 4.3.4. Orijinal Numunenin Anaerobik İşleminde Saptanan Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri

Önişlem uygulanmamış taze tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımının anaerobik işleminden elde edilen biyogaz ve metan üretim verimleri, sırasıyla, 5.32 mL/Biyogaz/gKM ve 3.02 mLCH<sub>4</sub>/gKM olarak saptanmıştır (**Şekil 4.18.**, **Şekil 4.19.**). Bilindiği gibi anaerobik sistemlerde maksimum biyogaz ve metan üretim veriminin reaktöre verilen hammaddedeki katı maddenin kütlece %6 ile %10 arasında olduğunda gerçekleşmektedir [60,63]. Burada da orijinal tavuk gübresinin % 10 katı madde içeren sulu karışımının anaerobik işleminde saptanan biyogaz ve metan veriminin düşük olduğu görülmektedir. Orijinal numunenin biyogaz ve metan üretim veriminin düşük olmasının bir başka nedeni ise reaktöre verilen orijinal gübredeki biyolojik olarak parçalanabilen madde derişiminin düşük olmasıdır. Hammaddeye uygulanan önişlemler ile hem biyolojik olarak parçalanamayan maddeler, biyolojik olarak parçalanabilir hale dönüştürülmekte, hem de bu maddelerin boyutları küçüldüğünden aynı hacme daha yüksek derişimde organik madde verilebilmektedir. **Şekil 4.18.** ve **Şekil 4.19.**'de de görüldüğü gibi, anaerobik işlemlerde, tavuk

gübresinin suda çözünmüş şekilde reaktöre verilmesi ile biyogaz ve metan verimleri önemli ölçüde artmaktadır.



#### 4.4. MAKSİMUM SUDA ÇÖZÜNÜRLÜĞÜN ELDE EDİLDİĞİ SULU FAZLARIN ANAEROBİK BİYOLOJİK PARÇALANMA SÜRESİNCE BİYOGAZ ve METAN ÜRETİM MİKTARLARININ ZAMANLA DEĞİŞİMİ

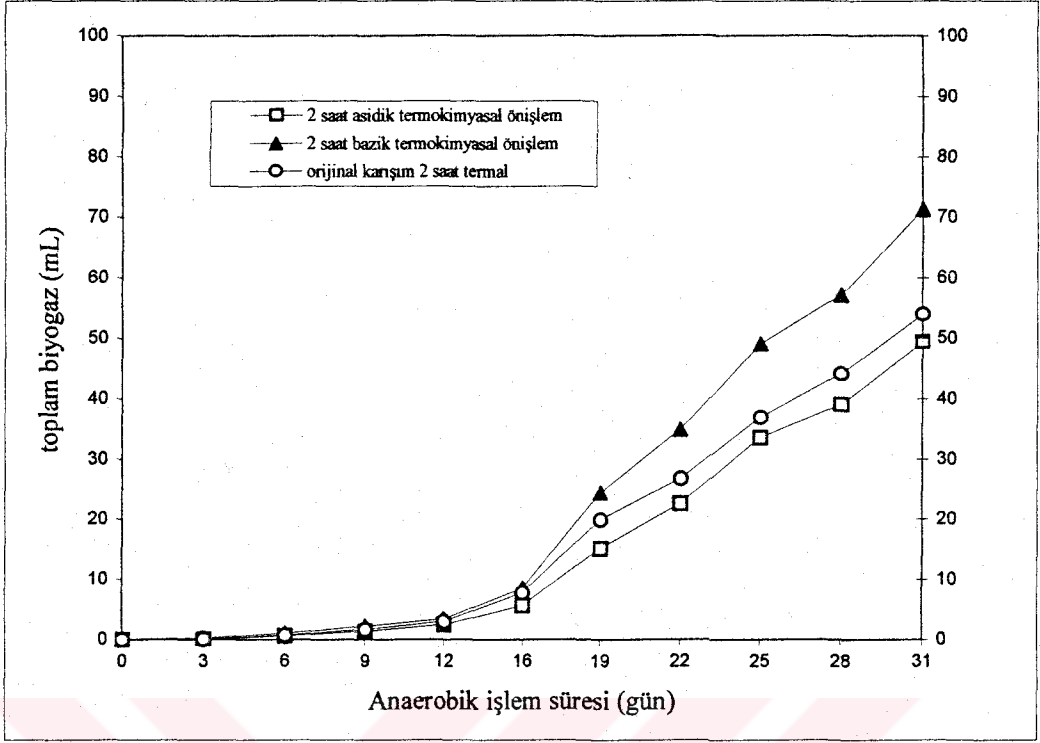
Asidik, bazik ve kimyasal madde kullanılmadan yapılan önışlemlerden, maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği sulu fazların, anaerobik biyolojik işlemleri süresince, biyogaz ve metan üretim miktarındaki değışimler, sulu fazlardaki çözünmüş BOİ ve KOİ derişimindeki değışimler ve MLSS derişimindeki değışimler ile ilgili bulgular ve yorumları, kullanılan kimyasal madde türüne göre alt başlıklar halinde verilmiştir.

##### 4.4.1. Asidik Önışlemlerde Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazın Anaerobik Biyolojik Parçalanma Süresince Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi

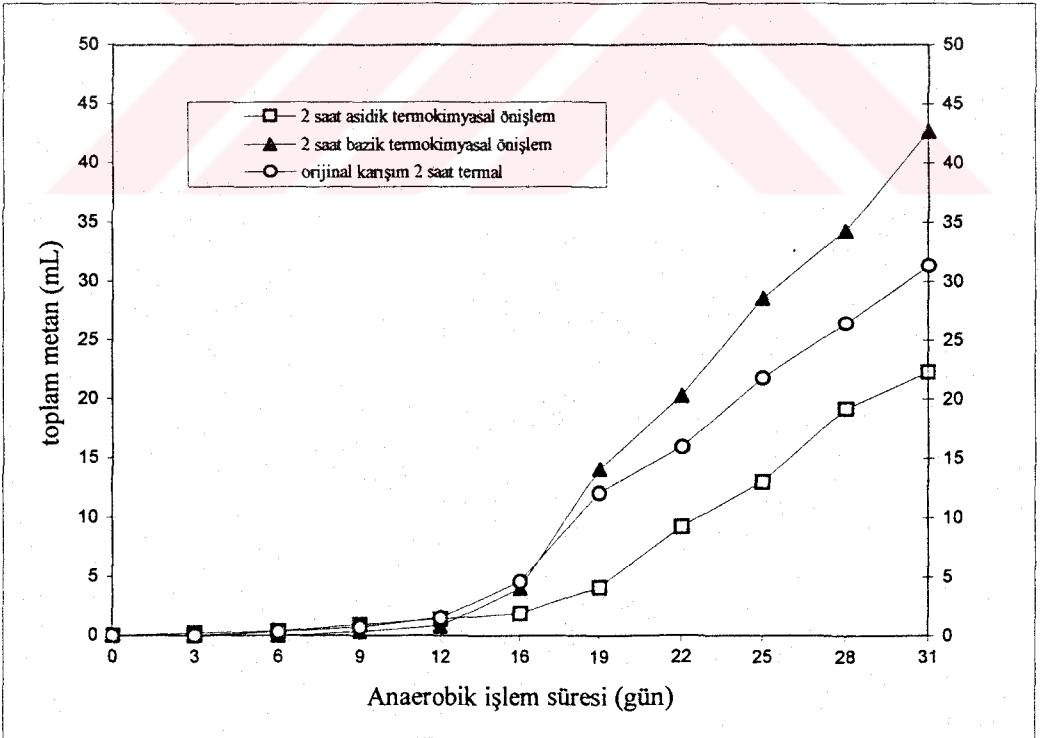
Asidik önışlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımındaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenerek, SNKS'da kaynatılarak yapılan, 2 saatlik önışlemden (Çizelge 4.2., 22 nolu önışlem) elde edilen sulu fazın anaerobik biyolojik parçalanma süresince, biyogaz ve metan üretim miktarındaki, sulu fazlardaki çözünmüş BOİ ve KOİ derişimindeki ve MLSS derişimindeki değışim bulguları ve yorumları, alt başlıklar halinde verilmiştir.

##### 4.4.1.1. Biyogaz ve metan üretim miktarları

%20 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> kullanılarak 2 saatte, SNKS de, maksimum suda çözünürlüğün (kütlece % 40.93) sağlandığı sulu fazın anaerobik işleminde, biyogaz ve metan üretim verimlerinin, sırasıyla 120.45 mLbiyogaz/gKM ve 68.02 mLCH<sub>4</sub>/gKM olduğu saptanmıştır. Anaerobik işlem süresince sulu fazdan elde edilen eklenik biyogaz hacmi Şekil 4.20.'de, ve eklenik metan hacmi ise Şekil 4.21.'de görülmektedir.



**Şekil 4.20.** Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Eklenik Biyogaz Miktarları



**Şekil 4.21.** Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Suda Çözünen Maddelerden Üretilen Eklenik Metan Miktarları

Şekillerden görüldüğü gibi biyogaz ve metan üretim miktarlarında, kimyasal madde kullanılmadan yapılan termal önışlemlerin, asidik önışlemlerden daha etkin olduğu görülmektedir. Asidik önışlemlerden, maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği sulu fazda biyogaz ve metan üretim miktarının zamanla değişim bulguları (Şekil 4.20., Şekil 4.21.) incelendiğinde, anaerobik işlemin 12. gününe kadar, üretilen gaz hacminde belirgin bir değişim olmadığı görülmektedir.

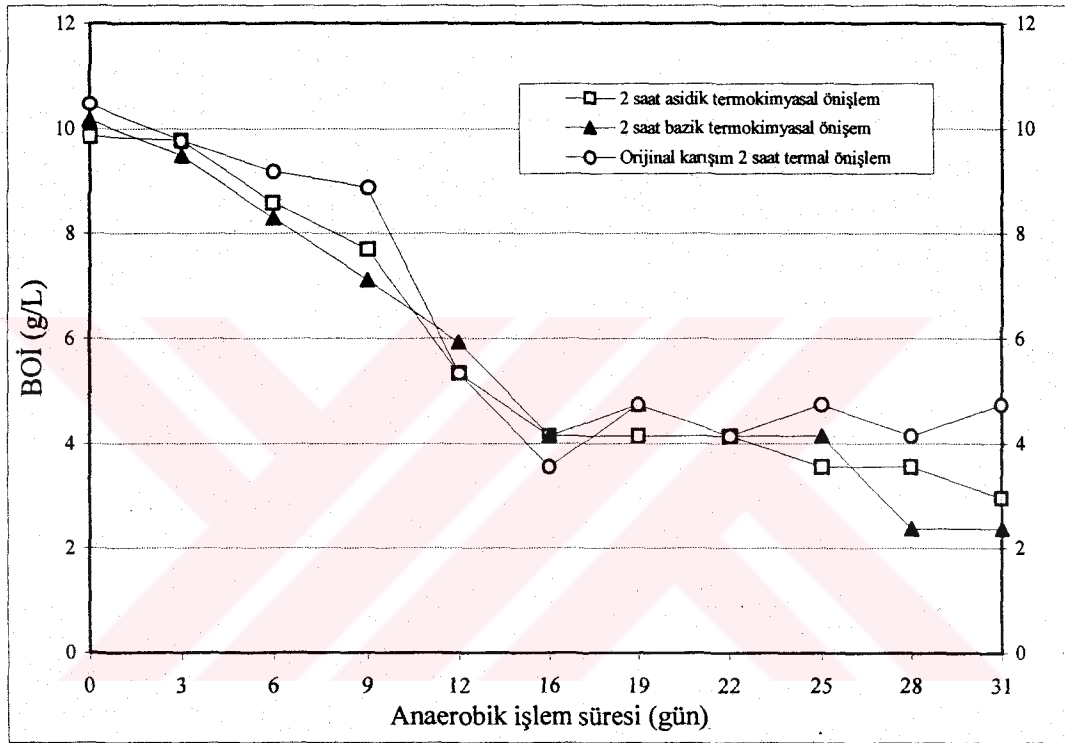
Buradan da, sistemde başlangıçta, fakültatif mikroorganizmalardan kaynaklanan oksijenli parçalanmanın olduğu, ortamdaki oksijenin tükenmesi ile aerobik mikroorganizmaların ölümü, aerobik ortamda oluşan karbondioksit gazının sulu ortamda çözünmesi ve 12. günden sonra anaerobik mikroorganizmaların üremelerinin olduğu anlaşılmaktadır. Aynı yargıyı MLSS derişimindeki ve KOİ derişimindeki değişimler de desteklemektedir. KOİ derişiminin artması (Şekil 4.23.), aerobik mikroorganizmaların parçalanarak suda çözünebilir ve substrat olarak kullanılabilen maddelere dönüştüğünü göstermektedir. MLSS derişimindeki azalma (Şekil 4.24.) ise ortamda mikroorganizmaların olmadığını göstermektedir. Sistemde biyogaz ve metan üretimimin anaerobik işlemin 12. gününden sonra başladığı, sürekli bir artış olduğu ve 30 günlük anaerobik işlem süresi sonunda toplam biyogaz ve metan miktarlarının, sırayla 49.40 mL ve 27.90 mL (STP) de olduğu görülmektedir (Şekil 4.7., Şekil 4.8. 22 nolu önışlem).

#### 4.4.1.2. Biyolojik parçalanma süresince BOİ'nin zamanla değişimi

Asidik önışlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, sulu fazın anaerobik işlemin süresince BOİ derişiminin zamanla değişimi, Şekil. 4.22.'de verilmiştir. Şekil 4.22.'de görüldüğü gibi, anaerobik işlem süresince, sulu fazdaki çözünmüş BOİ derişimi zamanla azalmakta ve başlangıçta 9.87 gBOİ/L olan BOİ derişimi, anaerobik işlemin sonunda 2.96 gBOİ/L'ye düşmektedir. BOİ deki düşüş, biyolojik olarak parçalanabilen maddelerin parçalandığını ve son ürünlere dönüştüğünü göstermektedir. Anaerobik işlem sonunda BOİ'de % 70'lik bir giderim olduğu hesaplanmıştır. Zamanla KOİ derişimi ve MLSS derişimindeki değişim bulguları ve gaz üretim bulguları da aynı yargıyı doğrulamaktadır. Anaerobik işlemin ilk 16 gününde, BOİ'nin hızlı bir biçimde düştüğü görülmektedir. 16. günden sonra ise BOİ derişiminde salınımlar göstermektedir. Başlangıçta BOİ'nin hızlı düşüşü, organik



maddelerin, anaerobik sistemdeki biyolojik faaliyetlere bağı olarak parçalanmasından kaynaklanmaktadır. Biyogaz ve metan üretimi (Şekil 4.20., Şekil 4.21.) incelendiğinde ise BOİ'deki düşüşün biyogaz üretimini artırmadığı, MLSS derişiminde artış sağladığı ve anaerobik işlemin 12. gününden sonra, sistemdeki organik maddelerin biyogaza dönüştüğü görülmektedir. Biyogaz miktarındaki artış, KOİ ve BOİ derişimindeki düşüşler ve MLSS derişimindeki artış, sistemde suda çözünen maddelerin biyogaza dönüştüğünü göstermektedir.

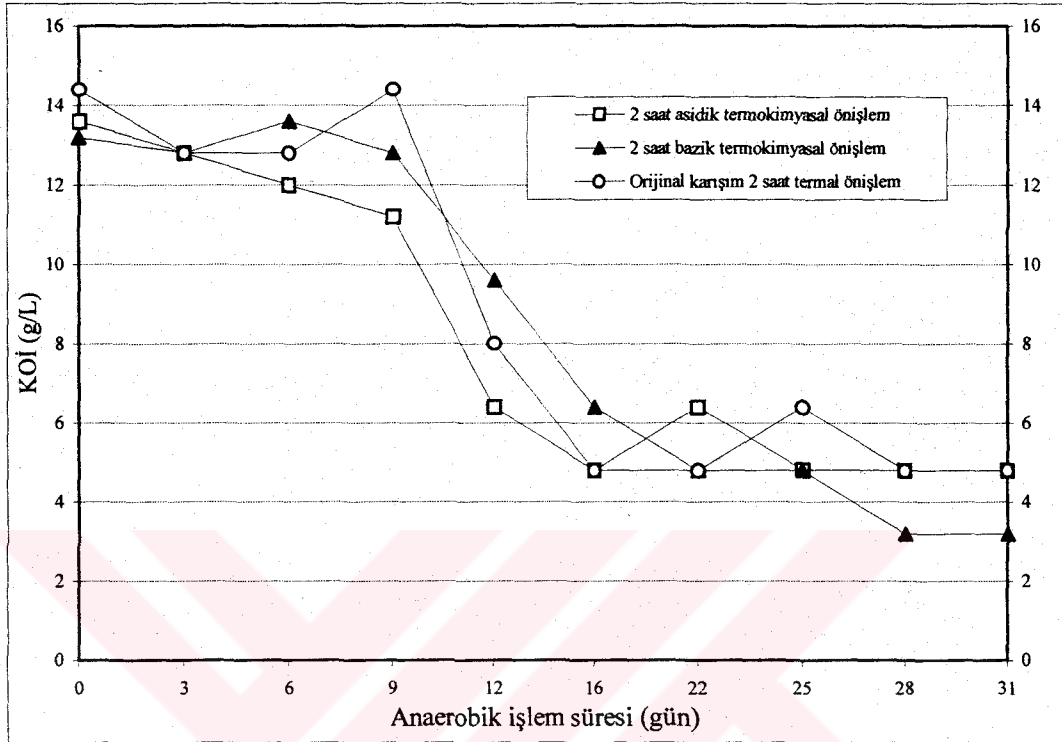


Şekil 4.22. Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşlemi Süresince BOİ Değişimi

#### 4.4.1.3. Biyolojik parçalanma süresince KOİ'nin zamanla değişimi

Asidik önilemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, sulu fazın anaerobik işlem süresince KOİ derişiminin zamanla değişimi, Şekil 4.23.'de verilmiştir. Şekil 4.23'de görüldüğü gibi, anaerobik işlem süresince, sulu fazdaki çözülmüş KOİ derişimi, BOİ'de olduğu gibi, zamanla azalmaktadır. Sulu fazın KOİ derişimi, başlangıçta 13.6 gKOİ/L iken, anaerobik işlemin sonunda 4.8 gKOİ/L'ye düşmektedir. Anaerobik işlem sonunda KOİ'de % 64.70'lik bir giderim sağlandığı hesaplanmıştır. KOİ derişimindeki azalma, suda çözülmüş ve kimyasal olarak

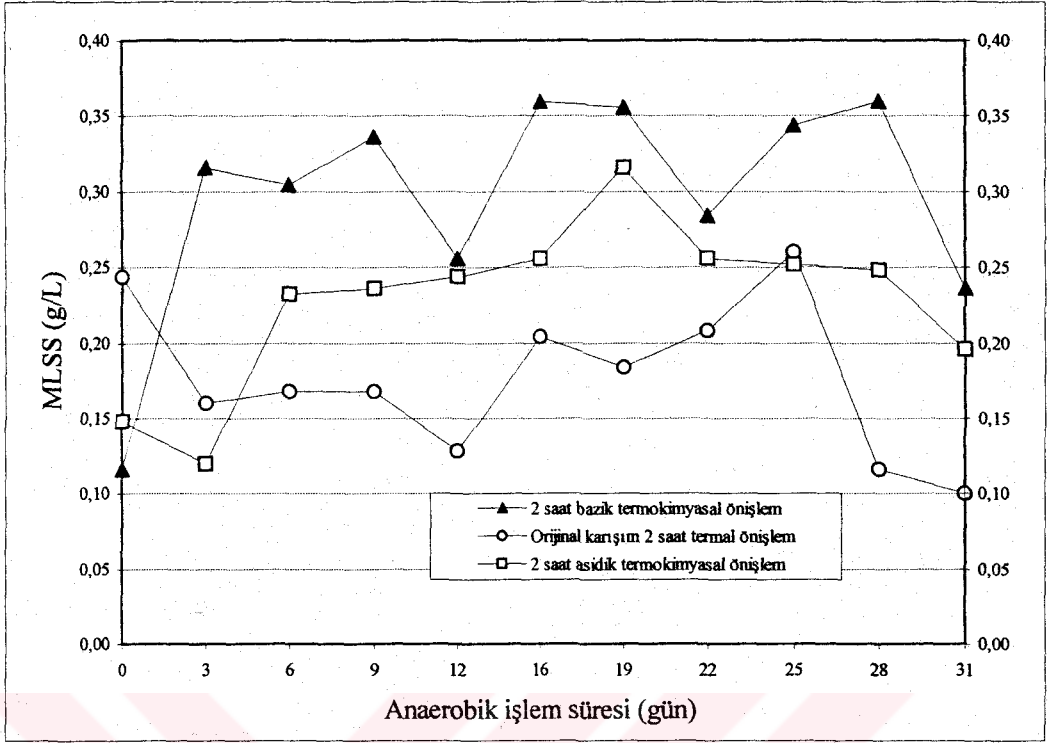
oksitlenebilen maddelerin de biyolojik parçalandığını göstermektedir. Zamanla BOİ ve MLSS derişimlerindeki değişmeler de yargıyı desteklemektedir.



**Şekil 4.23.** Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşlemi Süresince KOİ Değişimi

#### 4.4.1.4. Biyolojik parçalanma süresince MLSS'nin zamanla değişimi

Asidik önışlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, sulu fazın anaerobik işlem süresince MLSS değişimi, **Şekil. 4.24.**'de verilmiştir. Sulu fazda MLSS değişiminin zamanla değişimi incelendiğinde, MLSS'nin ilk 3 günde düştüğü, daha sonraki üç günde hızlı bir şekilde arttığı ve daha sonraki günlerde ise, artarak devam ettiği ve 28. günden sonra azaldığı görülmektedir. MLSS'deki ilk 3 gündeki azalma, mikroorganizmaların, ortama uyum sağlayamamalarından dolayı ölmeleri ve parçalanarak suda çözünen maddelere dönüşmelerinden kaynaklanmaktadır. MLSS derişimindeki artış ise anaerobik mikroorganizmaların üremelerinden kaynaklanmaktadır. Başlangıçta, BOİ ve KOİ'deki hızlı düşüşün ve gaz üretiminin 12. günden sonra başlamasının nedeni ise sistemdeki organik maddelerin bir kısmının mikroorganizma üretiminde kullanılmasıdır.



**Şekil 4.24.** Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazların Anaerobik İşleme Süresince MLSS Değişimi

#### 4.4.2. Bazik Önışlemlerde Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazın Anaerobik Biyolojik Parçalanma Süresince Biyogaz ve Metan Üretim Verimlerinin Zamanla

Bazik önışlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımındaki katı maddenin kütlece % 20'si kadar NaOH eklenerek, SNKS'da kaynatılarak yapılan 2 saatlik önışlemden (Çizelge 4.2, 24 nolu önışlem,) elde edilen sulu fazın anaerobik biyolojik parçalanma süresince, biyogaz ve metan üretim miktarları, sulu fazlardaki çözünmüş BOİ ve KOİ derişimleri ve MLSS derişim değişimleri ve yorumları alt başlıklar halinde verilmiştir.

#### 4.4.2.1. Biyogaz ve metan üretim miktarları

Bazik önışlemlerden, maksimum suda çözünürlüğün (kütlece % 54.83) elde edildiği sulu fazın anaerobik işleminde, biyogaz ve metan üretim verimleri sırasıyla 126.69 mLBiyogaz/gKM ve 75.87 mLCH<sub>4</sub>/gKM olarak saptanmıştır. Anaerobik işlem süresince sulu fazdan elde edilen eklenik biyogaz hacmi **Şekil 4.20.**'de, eklenik metan hacmi ise **Şekil 4.21.**'de görülmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi biyogaz ve metan üretim veriminde, bazik önışlemlerin, asidik ve kimyasal madde kullanılmadan yapılan termal önışlemlerden daha etkin olduğu görülmektedir. Ancak anaerobik işlemin 12. gününe kadar belirgin bir gaz üretimi görülmemekte, sistemde metan üretimimin ise anaerobik işlemin 12. gününden sonra başladığı görülmektedir. Buda, başlangıçta, sistemde fakültatif mikroorganizmalardan kaynaklanan oksijenli bir parçalanmanın olduğundan ve aerobik ortamda oluşan karbondioksit gazının sulu ortamda çözünmesinden kaynaklanmaktadır. 12. günden sonra anaerobik mikroorganizmaların üremelerinin olduğu anlaşılmaktadır. Aynı yargıyı MLSS derişimindeki ve KOİ derişimindeki değişimler de desteklemektedir. KOİ derişiminin artması (**Şekil 4.23.**), aerobik mikroorganizmaların parçalanarak suda çözünebilir ve substrat olarak kullanılabilir maddelere dönüştüğünü göstermektedir. MLSS derişimindeki azalma (**Şekil 4.24.**) ise ortamda mikroorganizmaların olmadığını göstermektedir. Sistemde biyogaz ve metan üretimimin anaerobik işlemin 12. gününden sonra başladığı, sürekli bir artış olduğu ve 30 günlük anaerobik işlem süresi sonunda toplam biyogaz ve metan miktarlarının, sırayla 71.30 mL ve 42.70 mL (STP) de olduğu görülmektedir (**Şekil 4.7.**, **Şekil 4.8.** 24 nolu önışlem).

#### 4.4.2.2. Biyolojik parçalanma süresince BOİ'nin zamanla değişimi

Bazik önışlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, sulu fazın anaerobik işlem süresince suda çözünmüş BOİ derişiminin zamanla değişimi, **Şekil 4.22.**'de verilmiştir. **Şekil 4.22.**'de görüldüğü gibi, anaerobik işlem süresince, sulu fazdaki suda çözünmüş BOİ derişimi zamanla azalmakta ve başlangıçta BOİ derişimi 10.16 gBOİ/L iken, anaerobik işlem sonunda BOİ derişimi 2.37 gBOİ/L'ye inmektedir. BOİ deki düşüş, biyolojik olarak parçalanabilir maddelerin parçalandığını ve son ürünlere dönüştüğünü göstermektedir. Anaerobik işlem sonunda % 76.7 BOİ

giderimi sağlandığı hesaplanmıştır. Suda çözülmüş BOİ derişimindeki azalma, suda çözünen maddelerin biyolojik olarak parçalandığını ve biyogaza dönüştüğünü göstermektedir. Bu olgu, MLSS derişimindeki artış, KOİ derişimindeki düşüş ve biyogaz miktarındaki artışla desteklenmektedir.

#### 4.4.2.3. Biyolojik parçalanma süresince KOİ'nin zamanla değişimi

Bazik önişlemlerden maksimum suda çözünlüğü elde edildiği, sulu fazın anaerobik işlem süresince KOİ değişimi, **şekil. 4.23.**'de verilmiştir. **şekil 4.23.**'de görüldüğü gibi, anaerobik işlem süresince, sulu fazın KOİ derişimi, BOİ'de olduğu gibi, zamanla azalmaktadır. Sulu fazdaki suda çözülmüş KOİ derişimi, başlangıçta 13.2 gKOİ/L. iken, anaerobik işlemin sonunda 3.2 gKOİ/L'ye düşmektedir. Anaerobik işlem sonunda KOİ derişiminde % 75.80'lik bir azalma sağlandığı hesaplanmıştır. Suda çözülmüş KOİ derişimindeki azalma, suda çözünebilir ve kimyasal olarak oksitlenebilir maddelerin biyolojik olarak parçalandığını göstermektedir. Zamanla, MLSS derişimindeki artış, biyogaz miktarındaki artış ve BOİ derişimindeki düşüş de aynı yargıyı desteklemektedir.

#### 4.4.2.4. Biyolojik parçalanma süresince MLSS'nin zamanla değişimi

Bazik önişlemlerden maksimum suda çözünlüğü elde edildiği, sulu fazın anaerobik işlem süresince MLSS derişiminin zamanla değişimi, **şekil. 4.24.**'de verilmiştir. Sulu fazda MLSS derişiminin zamanla değişimi incelendiğinde, MLSS'nin ilk 3 günde hızla arttığı, daha sonraki günlerde ise salınımlar gösterdiği görülmektedir. Anaerobik işlemin 12 ve 22. günlerinde MLSS düşüş göstermektedir. Buradan anaerobik işlemin 12. gününde asit oluşturan mikroorganizmaların öldüğü ve parçalanarak suda çözünen maddelere dönüştüğü şeklinde yorumlanabilir. 22. gününde ise organik maddelerin metana dönüşmesi ile ortamda besin maddelerinin azalması nedeniyle mikroorganizmaların ölümlerinin başladığı, ancak ölen mikroorganizmaların parçalanarak suda çözünlür yapıya dönüştüğü ve ortamdaki diğer mikroorganizmalar tarafından besin maddesi olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca bu MLSS salınımlarının, sistemdeki sodyum iyonlarının, anaerobik biyolojik faaliyetleri durduran ya da sınırlayan moleküller oluşturması, bu

moleküllerin daha sonra parçalanarak, mikroorganizmaların ölümüne yol açan bileşiklere dönüşmesinden de kaynaklandığı söylenebilir. Ancak bu tür yorumların, sistemde hangi aşamada hangi bileşiklerin oluştuğunun saptanması ile desteklenmesi gerekmektedir.

#### 4.4.3. Termal Önişlemlerde Maksimum Suda Çözünürlüğün Elde Edildiği Sulu Fazın Anaerobik Biyolojik Parçalanma Süresince Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi

Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, tavuk gübresinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımın, SNKS'da kaynatılarak yapılan 2 saatlik önişlemden (Çizelge 4.2, 28 nolu önişlem) elde edilen sulu fazın anaerobik biyolojik parçalanma süresince, zamanla biyogaz ve metan üretim miktarları, sulu fazlardaki suda çözülmüş BOİ derişim ve KOİ derişim ve MLSS derişim değişimleri ile ilgili bulgular ve yorumları, alt başlıklar halinde verilmiştir.

##### 4.4.3.1 Biyogaz ve metan üretim miktarları

Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden, maksimum suda çözünürlüğün (kütlece % 33.23) elde edildiği sulu fazın anaerobik işleminde, biyogaz ve metan üretim verimleri sırasıyla 115.62 mLbiyogaz/gKM ve 67.14 mLCH<sub>4</sub>/gKM olarak saptanmıştır.. Anaerobik işlem süresince sulu fazdan elde edilen eklenik biyogaz hacmi Şekil 4.20.'de, eklenik metan hacmi ise Şekil 4.21.'de görülmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi, biyogaz ve metan üretiminde, kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerin, asidik önişlemlerden daha etkin olmaktadır. Bu da asidik önişlemlerde kullanılan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'deki SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyonlarının indirgenmesi sonucu oluşan H<sub>2</sub>S'in biyolojik faaliyetleri durdurucu etkisinden kaynaklanmaktadır.

Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önişlemlerden, maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği sulu fazın anaerobik işleminde, ilk 12 gün gaz üretiminin olmamasının nedeni, sistemde başlangıçta, fakültatif mikroorganizmalardan kaynaklanan oksijenli parçalanmanın olması ve aerobik ortamda oluşan

karbondioksit gazının sulu ortamda çözünmesidir. Anaerobik mikroorganizmaların üremelerinin 12. günden sonra olduğu anlaşılmaktadır. MLSS ve KOİ derişimindeki değişimler de aynı yargıyı desteklemektedir. KOİ derişiminin 9. günde artması (**Şekil 4.23.**), aerobik mikroorganizmaların parçalanarak suda çözünebilir ve substrat olarak kullanılabilir maddelere dönüştüğünü göstermektedir. MLSS derişimindeki azalma (**Şekil 4.24.**) ise ortamda mikroorganizmaların olmadığını göstermektedir. Sistemde biyogaz ve metan üretimimin anaerobik işlemin 12. gününden sonra başladığı, sürekli bir artış olduğu ve 30 günlük anaerobik işlem süresi sonunda toplam biyogaz ve metan miktarlarının, sırayla 53.90 mL ve 31,30 mL (STP) de olduğu görülmektedir (**Şekil 4.7.**, **Şekil 4.8.** 28 nolu önışlem).

#### 4.4.3.2. Biyolojik parçalanma süresince BOİ'nin zamanla değişimi

Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önışlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, sulu fazın anaerobik işlem süresince BOİ değişimi, **Şekil 4.22.**'de verilmiştir. **Şekil 4.22.**'de görüldüğü gibi, anaerobik işlem süresince, sulu fazın BOİ derişimi zamanla azalmakta ve başlangıçta 10.46.BOI/L olan BOİ derişimi, anaerobik işlemin sonunda 4.74 gBOİ/L' ye düşmekte ve anaerobik işlem sonunda BOİ'de % 54.58'lik bir giderim sağlanmaktadır. BOİ'deki düşüş, biyolojik olarak parçalanabilir maddelerin parçalandığını ve son ürünlere dönüştüğünü göstermektedir. Ancak anaerobik işlem süresince, biyogaz ve metan üretim miktarları (**Şekil 4.20.** ve **Şekil 4.8.**) incelendiğinde, BOİ' deki bu azalmanın biyogaz ve metan üretiminde, 12. güne kadar etkin olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni ise organik maddelerin, başlangıçta fakültatif mikroorganizmalar tarafından aerobik parçalanması ve oluşan karbondioksitin suda çözünmesidir. Ayrıca parçalanmış organik maddelerin mikroorganizma üremesinde de kullanıldığı da söylenebilir. Anaerobik işlemin 12. gününden sonra ise BOİ'deki azalmanın biyogaz ve metan üretiminde etkin olduğu anlaşılmaktadır. KOİ derişimindeki azalma (**Şekil 4.23.**) ve biyogaz ve metan üretimindeki artış da bunu desteklemektedir (**Şekil 4.20.** ve **Şekil 4.21.**).

#### 4.4.3.3. Biyolojik parçalanma süresince KOİ'nin zamanla değişimi

Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önışlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, sulu fazın anaerobik işlem süresince KOİ değişimi, **Şekil. 4.23.**'de verilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi, anaerobik işlem süresince, sulu fazın KOİ derişimi zamanla azalmakta ve başlangıçta 14.4 gKOİ/L olan KOİ derişimi, anaerobik işlemin sonunda 4.8 gKOİ/L' ye düşmekte ve anaerobik işlem sonunda KOİ'de % 66.7'lik bir giderim sağlanmaktadır. Suda çözünmüş KOİ derişimindeki azalma, suda çözünebilen ve kimyasal olarak oksitlenebilen maddelerin biyolojik olarak parçalandığını göstermektedir. Yargı, MLSS derişimindeki (**Şekil 4.24.**) ve biyogaz ve metan miktarındaki zamanla artış (**Şekil 4.20.**ve **Şekil 4.21.**)ile BOİ derişimindeki (**Şekil 4.22.**) düşüşle de desteklemektedir.

#### 4.4.3.4. Biyolojik parçalanma süresince MLSS'nin zamanla değişimi

Kimyasal madde kullanılmadan yapılan önışlemlerden maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği, sulu fazın anaerobik işlem süresince MLSS değişimi, **Şekil. 4.24.**'de verilmiştir. Sulu fazda MLSS değişimi incelendiğinde, MLSS, ilk 3 günde azaldığı, daha sonraki günlerde ise salınımlar göstermektedir.

MLSS derişiminin zamanla değişimi incelendiğinde, MLSS'nin ilk 3 günde azaldığı, daha sonraki günlerde ise salınımlar göstererek arttığı görülmektedir. Anaerobik işlemin 12 ve 25. günlerinde MLSS düşüş göstermektedir. Buradan anaerobik işlemin 12. gününde asit oluşturan mikroorganizmaların parçalanarak suda çözünen maddelere dönüştüğü şeklinde yorumlanabilir. 22. gününde ise organik maddelerin metana dönüşmesi ile ortamda besin maddelerinin azalması nedeniyle farklı türden mikroorganizmaların ölümlerinin başladığı, ancak ölen mikroorganizmaların ortamdaki diğer mikroorganizmalar tarafından besin maddesi olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır.



## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğü, termal, kimyasal ve termokimyasal işlemlerle artmaktadır.

Termal, kimyasal ve termokimyasal işlemlerde, tavuk gübresindeki katı maddenin suda çözünürlüğü, işlem süresi ve sıcaklığındaki artışlarında artmaktadır.

Termokimyasal işlemlerde, suda çözünürlükte baz (NaOH) kullanılan işlemler, asit ( $H_2SO_4$ ) kullanılan işlemlerden daha etkilidir.

Tüm işlemlerde maksimum suda çözünürlük % 54.83 ile tavuk gübresindeki katı maddenin % 20'si kadar NaOH eklenerek, 2 saat süreyle yapılan termokimyasal işlemde elde edilmiştir.

Maksimum eklenik biyogaz ve metan miktarı (120.45 mL Biyogaz/gKM ve 68.02 mL  $CH_4$ /gKM), maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği sulu fazdan elde edilmiştir.

Maksimum biyogaz ve metan üretim verimi (134.22 mL Biyogaz/gKM ve 78.17 mL  $CH_4$ /gKM), katı maddenin kütlesine % 15'i kadar NaOH ile oda sıcaklığında, 1 saatlik bazik kimyasal işlemde elde edilmiştir.

Katı maddenin % 15'i kadar  $H_2SO_4$  kullanılan işlemlerde,  $H_2S$ 'in biyolojik faaliyetleri durdurucu etkileri görülmüştür.

Maksimum KOİ (% 75.8) ve BOİ giderimi (% 76.7), maksimum suda çözünürlüğün elde edildiği sulu fazdan elde edilmiştir.

Tavuk eti ve yumurta üretim çiftliklerinde oluşan atık tavuk gübresi, üretilecek metan ile enerji üretimi amacıyla anaerobik işlemlerle değerlendirilmelidir.

Tavuk gübresinden üretilen biyogaz ve metan miktarları arttırmak amacıyla, bazik termokimyasal işlemler ile tavuk gübresindeki katı maddelerin suda çözünür forma dönüştürülmesi ve suda çözünmüş formda anaerobik reaktöre verilmesi gerekmektedir. Böylece reaktörde kabuk oluşumu engelleneceği gibi sistemdeki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından daha kolay parçalanabilmesi sağlanacaktır.

Bazik termokimyasal önişlemlerde NaOH kullanılmalıdır. Ancak önişlemlerde kullanılan kimyasal madde derişimi, anaerobik sistemdeki mikroorganizmaların faaliyetlerini durdurucu etmeyecek derişimde olmalıdır.

Anaerobik işlemlerin çok karmaşık sistemler olmasından dolayı, bazı sonuçların, olması gerekenden farklı olduğu görülebilmektedir. Bundan dolayı anaerobik sistemlerle çalışıldığında, anaerobik işlemin her bir basamağında oluşan maddelerin gelişmiş analitik cihazlarla belirlenmesi gerekmektedir. Böylece elde edilen sonuçlarla ilgili daha sağlıklı yorumların yapılması mümkün olacaktır.



## KAYNAKLAR

- [1] Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesi, "1999 Enerji Raporu", Ankara, (1999)
- [2] Maeng, H., Lund, H. and Hvelplund, F., "Biogas plants in Denmark: Technological and economic developments", *Applied Energy*, **64(1):195-206**, (1999)
- [3] Singh, S.P., Vatsa, D.K. and Verma, H.N., "Problems with biogas plants in Himachal Pradesh", *Bioresource Technology*, **59(1):69-71**, (1997)
- [4] Vijay, V.K., Prasad, R., Singh, J.P. and Sorayan, V.P.S., "Case for biogas energy application for rural industries in India", *Renewable Energy*, **9(1-4):993-996**, (1996)
- [5] Kalia, A.K., "Biogas as a source of rural energy", *Energy Sources*, **22(1):67-76**, (2000)
- [6] Akinbami, J.-F.K., Ilori, M.O., Oyebisi, T.O., Akinwumi, I.O. and Adeoti, O., "Biogas energy use in Nigeria: current status, future prospects and policy implications" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **5(1):97-112**, (2001)
- [7] Ni, J.-Q., Naveau, H. and Nyns, E.-J., "Biogas: Exploitation of a renewable energy in Latin America" *Renewable Energy*, **3(6-7):763-779**, (1993)
- [8] Day, D.L., Chen, T.H., Anderson, J.C. and Steinberg, M.P., "Biogas plants for small farms in Kenya", *Biomass*, **21:83-99**, (1990)
- [9] Nazir, M., "Biogas plants construction technology for rural areas" *Bioresource Technology*, **35(3):283-289**, (1991)
- [10] FAO istatistikleri, <http://apps1.fao.org/>, (15.05.2002)
- [11] Acaroglu, M., "The potential of biomass and animal waste of Turkey and the possibilities of these as fuel in thermal generating stations", *Energy Sources*, **21(4):339-346**, (1999)
- [12] Kaygusuz, K. and Kaygusuz, A., "Renewable energy and sustainable development in Turkey", *Renewable Energy*, **25:431-453**, (2002)
- [13] Staffort, D.A., Hawkes, D.L. and Horton, H.R., "Methane production from waste organic matter", *Agriculture Canada Publication*, no:1528, Canada (1980)
- [14] Speece, R.E., "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater", Arche Press, Tennessee, (1996)

- [15] Gökçay, C.F., Duran, M.M. ve Demirer, G.N., "Anaerobik biyoteknoloji teorik altyapı ve uygulamalar", IV. Ulusal Çevre Müh. Kongresi, 7-10 Kasım 2001, İçel, (2001)
- [16] Flotats, X., "La digestió anaeròbia com alternativa de tractament o com procés previ al procés de compostatge", 4<sup>a</sup> Jornada Tècnica sobre la gestió de Residus Municipals: Residus orgànics municipals i compostatge, Barcelona, 19 Dec. (2000)
- [17] U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Clearinghouse, "Methane (Biogas) from Anaerobic Digesters", <http://www.eren.doe.gov/consumerinfo/refbriefs/ab5.html>, (16.06.2002)
- [18] Bari, S., "Effect of carbon dioxide on the performance of biogas/diesel dual-fuel engine", Renewable Energy, **9:1-4**, (1996) , Proceedings of the 1996 World Renewable Energy
- [19] "A Short History of Anaerobic Digestion", <http://www.biogasworks.com/>, (16.05.2002)
- [20] Ferry, J. G. "Methanogenesis: ecology, physiology, biochemistry and genetics", New York, (1993)
- [21] Lusk, P. and Moser, M., "Anaerobic Digestion; Yesterday, Today and Tomorrow", Ninth European Bioenergy Conference; June 24-27, Copenhagen, Denmark, Pergamon Press; UK, pp:**284-289**, (1996)
- [22] Goel, B., Pant, D.C. and Kishore, V.V. "Two-phase anaerobic digestion of spent tea leaves for biogas and manure generation", Bioresource Technology, November 1, **80(2):153-156**, (2001)
- [23] Lane, A.G., "Pilot scale anaerobic digestion of waste fruit solids", Environmental Technology Letters, **5:141-150**, (1984)
- [24] Lane, A.G., "Anaerobic digestion of orange peel", Food Technology in Australia, **36(3):125-127**, (1984)
- [25] Viswanath, P., Devi, S.S. and Nand, K., "Anaerobic digestion of fruit and vegetable processing wastes for biogas production", Bioresource Technology, **40:43-48**, (1992)
- [26] Disdale, R.M., Hawkes F.R., Hawkes D.L., "The mezophilic and thermophilic anaerobic digestion of coffee waste containing coffee grounds", Water Research, **30(2):371-377**, (1996)

- [27] Polat, H., Sekcuk, N., "Biogas production from agricultural wastes: semicontinuous anaerobic digestion of sunflower heads", *Energy Sources*, **15**:67-75, (1993)
- [28] Fernández, N., Fdz-Polanco, F., Montalvo, S.J. and Toledano, D., "Use of activated carbon and natural zeolite as support materials, in an anaerobic fluidized bed reactor, for vinasse treatment", *Water Science Technology*, **44(4)**:1-6. (2001)
- [29] Lalov, I.G., Krysteva, M.A. and Phelouzat, J.L., "Improvement of biogas production from vinasse via covalently immobilized methanogens.", *Bioresource Technology*, **79(1)**:83-85, (2001)
- [30] Beltran-Heredia, J., Benitez, F.J., Real F.J. and Acero J.L., "Increase of the methane production in the anaerobic digestion of winery wastes by prior ozonation stage", 1<sup>st</sup> World Conference on Biomass for Energy and Industry, Seville, Spain, 5-9 June 2000, **307-310**, (2000)
- [31] Demirer, G.N., Duran, M., Ergüder, T.H., Güven, E., Ugurlu, O. and Tezel, U., "An anaerobic treatability and biogas production potential studies of different agro-industrial wastewaters in Turkey", *Biodegradation*, **11**:401-405, (2000)
- [32] Caixeta, C.E.T., Cammarota, M.C. and Xavier, A.M.F., "Slaughterhouse wastewater treatment: evaluation of a new three-phase separation in a UASB reactor", *Bioresource Technology*, **81**:61-69, (2002)
- [33] Tekin, A.R. and Dalgic, A.C., "Biogas production from olive pomace", *Resources, Conservation and Recycling*, **30(4)**:301-313, (2000)
- [34] Hutnan, M., Drtil, M. and Mrafkova, L., "Anaerobic biodegradation of sugar beet pulp", *Biodegradation*, **11**:203-211, (2000)
- [35] Hutnan, M., Drtil, M., Derco, J., Mrafkova, L., Hornak, M. and Mico, S., "Two-step pilot-scale anaerobic treatment of sugar beet pulp", *Polish Journal of Environmental Studies*, **10(4)**:237-243, (2001)
- [36] Erguder, T.H., Guven, E. and Demirer, G.N., "Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactors", *Process Biochemistry*, **36**:243-248, (2000)
- [37] Viswanath P. Nand K., "Anaerobic digestion of silk industry wastes", *Bioresource Technology*, **49(3)**:273-276, (1994)
- [38] Meher, K. K., Panchwagh, A M., Rangrass, S. and Gollakota, K. G., "Biomethanation of tobacco waste" *Environmental Pollution*, **90(2)**:199-202, (1995)

- [39] Callaghan, F.J., Wase, D.A.J., Thayanithy, K. and Forster, C.F., "Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure", *Biomass and Bioenergy*, **27**:71-77, (2002)
- [40] Al-Masri, M.A., "Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes.", *Bioresource Technology*, **77(1)**:97-100, (2001)
- [41] Cheng, J. and Liu, B., "Swine wastewater treatment in anaerobic digesters with floating medium", *Transaction of the ASAE*, **145(3)**:799-805, (2002)
- [42] Ibrahim, I.I.G., Guowei, Z.J.G., Tayel, S.A., Khairy, M.F.A. and El-Shimi, S.A., "Anaerobic digestion for waste water poultry manure by UBF reactor", *Journal of Environmental Sciences*, **9(2)**:149-161, (1997)
- [43] Kalyuzhnyi, S., Fedorovich, V. and Nozhevnikova, A., "Anaerobic treatment of liquid fraction of hen manure in UASB reactors", *Bioresource Technology*, **65**:221-225, (1998)
- [44] Bujoczek, G., Oleszkiewicz, J., Sparling, R. and Cenkowski, S., "High solid anaerobic digestion of chicken manure", *J. Agricultural Engineering Resources*, **76**:51-60, (2000)
- [45] Magbanua, B.S., Adams, T.T. and Johnston, P., "Anaerobic co-digestion of hog and poultry waste", *Bioresource Technology*, **76(2)**:165-168, (2001)
- [46] Atuanya, E.I. and Aigbirior, M., "Mesophilic biomethanation and treatment of poultry waste-water using pilot scale UASB reactor", *Environmental Monitoring and Assessment*, **77**:139-147, (2002)
- [47] Deniz, Y., Bilgin, Z., Bilir, M. ve Karabay, E., "Değişik besleme aralıklarında sığır ve tavuk gübrelerinden elde edilen biyogaz miktarları", T.O.ve K.İ.Bak., Köy Hiz. Gen. Müd., Ankara Araş. Ens. Müd., No:140, Rap. No:62, ANKARA, (1987)
- [48] Held, C., Wellacher, M., Robra, K.H. and Gübitz, G.M., "Two-stage anaerobic fermentation of organic waste in CSTR and UFAF-reactors", *Bioresource Technology*, **81**:19-24, (2002)
- [49] Kyoung, C.J., Park, S.C. and Nam, C.H., "Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes", *Bioresource Technology*, **52(3)**:245-253, (1995)

- [50] Uemura, S. and Harada, H., "Treatment of sewage by a UASB reactor under moderate to low temperature conditions", *Bioresource Technology*, **172:275-282**, (2000)
- [51] Weast, R., C., " Handbook of Chemistry and Physics", CRC Press, 56th Edition, USA, (1995)
- [52] Naumann, S.T. and Myren, C., "Fuel processing of biogas for small fuel cell power plants", *Journal of Power Sources*, **56(1):45-49**, (1995)
- [53] Huang, J. and Crookes, R.J., "Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark ignition engine", *Fuel*, **77(15):1793-1801**, (1998)
- [54] Tia, S., Chaivatamasath, P., Jumnonpon, V. and Manomaiwong, S., "Biogas combustion in a crater bed", *RERIC International Energy Journal*, **20(1):1-8**, (1998)
- [55] Jana, S., Chakrabarty, N.R. and Sarkar, S.C., "Removal of carbon dioxide from biogas for methane", *Journal of Energy in Southern Africa*, **12(3):412-414**, (2001)
- [56] Stern, S.A., Krishnakumar, B., Charati, S.G., Amato, W.S., Friedman, A.A. and Fuess, D.J., "Performance of a bench-scale membrane pilot plant for the upgrading of biogas in a wastewater treatment plant" *J. of Membrane Sci.*, **151(1):63-74**, (1998)
- [57] Lastella, G., Testa, C., Cornacchia, G., Notornicola, M., Voltasio, F. and Kumar Sharma, V., "Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification", *Energy Conversion and Management*, **43:63-75**, (2002)
- [58] Tanaka, Y., "A dual purpose packed-bed reactor for biogas scrubbing and methane-dependent water quality improvement applying to a wastewater treatment system consisting of UASB reactor and trickling filter", *Bioresource Technology*, **84(1):21-28**, (2002)
- [59] Van Den Berg, L., "Effect of temperature on growth and activity of a methanogenic culture utilizing acetate", *Canad. J. of Microb.* **23(7):151-158**, (1977)
- [60] Desai, M., Patel, V. and Madamvar, D., "Effect of temperature and retention time on biomethanation of cheese whey-poultry waste-cattle dung", *Environmental Pollution*, **83:311-315**, (1994)
- [61] Ahn, J-H., Forster, C.F., "The effect of temperature variations on the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulated papermill wastewater", *Process Biochemistry*, **37:589-594**, (2002)

- [62] Lin, C.Y., Noike, T., Sato, K. and Matsumoto, J., "Temperature characteristics of the methanogenesis process in anaerobic digestion", *Water Science and Technology*, **19:299-310**, (1987)
- [63] Lay, J.J., Li, Y.Y. and Noike, T., "Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solid sludge digestion", *Water Research*, **31(6):1518-1524**, (1997)
- [64] Lapp, H.M., Schulte, D.D., Sparling, A.B. and Buchanan, L.C., "Methane production from animal wastes. 1. Fundamental Considerations", *Canadian Agr. Eng.*, **17(2):97-102**, (1975)
- [65] Van Den Berg, L., Patel, G.B., Clark, D.S. and Lents, C.P., "Factors affecting rate of methane formation from acetic acid by enriched methanogenic culture", *Canadian Journal of Microbiology*, **22:312-1319**, (1976)
- [66] Chen, C.Y., Li, C.T. and Shieh, W.K., "Anaerobic fluidized bed pretreatment of hog wastewater", *Journal of Environmental Engineering*, **123(4):393-399**, 1997
- [67] Kennedy, K.J. and van den Berg, L.L., "Anaerobic digestion of piggery waste using a stationary fixed film reactor", *Agricultural Wastes*, **4:151-158**, (1982)
- [68] Filibeli, A., Büyükkamacı, N. ve Ayol, A., "Anaerobik Arıtma", DEÜ, Müh. Fak. Yayınları, No:**280**, İzmir, (2000)
- [69] Vijayaraghavan, K., and Murthy, D.V.S., "Effect of toxic substances in anaerobic treatment of tannery wastewaters", *Bioprocess Engineering Abstract*, **16(3):151-155**, (1997)
- [70] G. Zayed, G. and Winter, J., "Short contribution: Inhibition of methane production from whey by heavy metals-protective effect of sulfide", *Applied Microbiology and Biotechnology Abstract*, **53(6):726-731**, (2000)
- [71] Eismann, F., Glindemann, D., Bergmann, A. and Kusch, P., "Effect of free phosphine on anaerobic digestion", *Water Research*, **31(11):2771-2774**, (1997)
- [72] Rajeshwari, K.V., Balakrishnan, M., Kansal, A., Lata, K. and Kishore, V.V.N., "State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **4:135-156**, (2000)
- [73] Barber, W.P., and Stuckey, D.C. "The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment: a review", *Water Research*, **33(7):1559-1578**, (1999)



- [74] Alette, A.M., Langenhoff, M., Intrachandra N. and Stuckey, D., "Treatment of dilute soluble and colloidal wastewater using an anaerobic baffled reactor: influence of hydraulic retention time", *Water Research*, **34(4):1307-1317**, (2000)
- [75] Van den Berg, L. and Kennedy, K.J., "Support materials for stationary fixed film reactors for high-rate methanogenic fermentation", *Biotechnology Letters*, **3(4):165-170**, (1981)
- [76] Van den Berg, L. and Kennedy, K.J., "Performans characteristics of anaerobic downflow fixed film reactors", 1<sup>st</sup> International Symposium on Fixed Film Processes, Kings Island, (1982)
- [77] Müller, H.W. and Trösch, W., "Screening of white-rot fungi for biological pretreatment of wheat straw for biogas production", *Applied Microbiology. Biotechnology*, **24:180-185**, (1986)
- [78] Angelidaki, I. and Ahring, B.K., "Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure", *Water Science and Technology*, **41(3), (2000)**, 2<sup>nd</sup> International Symposium on Anaerobic Digestion of Solid Waste, Jun 15-18 1999, Barcelona, Spain, pp:**189-194**, (1999)
- [79] Ghosh, B. and Bhattacharyya, C., "Biomethanation of white rotted and brown rotted rice straw", *Bioprocess Engineering Abstract*, **20(4):297-302**, (1999)
- [80] Yeom, I.T., Lee, K.R., Ahn, K.H. and Lee, S.H., "Effects of ozone treatment on the biodegradability of sludge from municipal wastewater treatment plants", *Water Science and Technology*, **46(4-5):421-425**, (2002)
- [81] Liu, H.W., Walter, H.K., Vogt, G.M., Vogt, H.S. and Holbein, B.E., "Steam pressure disruption of municipal solid waste enhances anaerobic digestion kinetics and biogas yield", *Biotechnology Bioengineering*, **77(2):121-130**, (2002)
- [82] Bonmati, A., Flotats, X., Mateu, L. and Campos, E., "Study of thermal hydrolysis as a pretreatment to mesophilic anaerobic digestion of pig slurry", *Water Science Technology*, **44(4):109-116**, (2001)
- [83] Tsukahara, K., Yagishita, T., Ogi, T. and Sawayama, S. "Treatment of liquid fraction separated from liquidized food waste in an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **87(4):554-556**, (1999)
- [84] Penaud, V., Delgenès, P. and Moletta, R., "Thermo-chemical pretreatment of a microbial biomass: influence of sodium hydroxide addition on solubilization and

- anaerobic biodegradability”, *Enzyme and Microbial Technology*, **25(3-5):258-263**, (1999)
- [85] Penaud, V., Delgenès, J.P. and Moletta, R., “Influence of thermochemical pretreatment conditions on solubilization and anaerobic biodegradability of a microbial biomass” *Environmental Technology*, **21:87-96**, (2000)
- [86] Penaud, V., Delgenès, J.P. and Moletta, R., “ Characterization of soluble molecules from thermochemical pretreated sludge” *Journal of Environmental Engineering*, **126(5):397-402**, (2000)
- [87] Delgenès, J.P., Penaud, V., Torrijos, M. and Moletta, R., “Investigations on the changes in anaerobic biodegradability and biotoxicity of an industrial microbial biomass included by a thermochemical pretreatment” *Water Science and Technology*, **41(3):137-144**, (2000)
- [88] Sawayama, S., Inoue, S., Yagishita, T., Ogi, T. and Yokoyama, S.Y., “Thermochemical liquidization and anaerobic treatment of dewatered sewage sludge”, *Journal of Fermentation & Bioengineering*, **79(3):300-302**, (1995)
- [89] Sawayama, S., Inoue, S., Tsukahara, K. and Ogi T., “Thermochemical liquidization of anaerobically digested and dewatered sludge and anaerobic retreatment”, *Bioresource Technology*, **55(2):141-144**, (1996)
- [90] Tanaka, S., Kobayashi, T., Kamiyama, K.I. and Bildan, L.N.S., “Effects of thermochemical pretreatment on the anaerobic digestion of waste activated sludge”, *Water Science and Technology*, **35(8):209-215**, (1997)
- [91] Clarkson, W.W. and Xiao, W., “Bench-scale anaerobic bioconversion of newsprint and office paper”, *Water Science and Technology*, **41(3):93-100**, (2000)
- [92] Taner, F. and Ardic, I., “The effects of preliminary acidic and basic and then thermal basic pretreatment to increase water solubility of grapefruit peel”, *EPMR International Conference, Environmental Problems of The Mediterranean Region*, 12-15 Nisan 2002 Near East Univ., Nicosia, CYPRUS, (2002)
- [93] Taner, F. and Ardic, I., “Thermochemical pretreatment of orange peel to convert watersolubles”, *EPMR International Conference, Environmental Problems of The Mediterranean Region*, 12-15 Nisan 2002 Near East Univ., Nicosia, CYPRUS, (2002)

- [94] Taner, F., Aydogan, A. and Baydar, G., "The effect of thermochemical pretreatment for anaerobic biodegradability of orange peel", Proc. of 10<sup>th</sup> Int. Conf., 8-11 June 1998, Wurzburg, Germany, **681-683**, (1998)
- [95] Taner, F., Gül, A. and Olcay, A., "Biogas Yield of Soy-bean Stem Pretreated with NaOH", Environmental Science & Technology Conference, 5-9 June, (1988), İzmir-Türkiye.
- [96] Taner, F., Kimyonsen, Ü. and Eratik, A., "Biogasification of Aqueous Phases Obtained from Liquefaction of SEKA Solid Wastes at 0,1 Mpa", Energy Sources, **15:17-22**, (1993)
- [97] APHA American Public Assoc., "Standard Methods for Examination water and wastewater", 16<sup>th</sup> Edition Washington D.C., (1985)
- [98] Whistler, R.L., BeMiller, J. N. and Parchall, E. F. "Starch; chemistry and technology", Academic Press, USA, p:**231**, (1984)
- [99] Heuser, E., "The chemistry of cellulose", John Wiley&Sons, Inc., London, p:**66**, (1944)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İLKER ARDIÇ  
Doğum Tarihi : 21.10.1976  
Doğum Yeri : Acırlı Köyü/ Felahiye/ Kayseri  
Adres : Ziya Gökalp Mah. Ege Cad. Özlem Sit. No:28/20, 38080,  
Kocasinan/Kayseri  
Telefonlar : Ev; 0 352 331 68 33 (Kayseri)  
Ev; 0 324 341 11 82 (Mersin)  
Cep; 0 542 230 69 66 / 0 535 646 88 02  
Email : ardicilker@yahoo.com

## EĞİTİM

İlkokul : Acırlı Köyü İlkokulu (1982-1987)  
Ortaokul : Kayseri Kadı Burhanettin Ortaokulu (1987-1990)  
Lise : Merkez Anadolu Teknik Lisesi (1990-1995), Elektronik Böl.  
Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi (1995-1999), Çevre Mühendisliği Böl.