

**KENTSEL VE/VEYA MEYVE SUYU ATIKSU ARITMA TESİSİ
SULU ÇAMURLARININ BİYOGAZA DÖNÜŞÜMÜNDE
ÖN İŞLEM ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

ESİN HANDE BAYRAK

**DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
2014**

**CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL VE/VEYA MEYVESUYU ATIK SU ARITMA TESİSİ
SULU ÇAMURLARININ BİYOGAZA DÖNÜŞÜMÜNDE
ÖN İŞLEM ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**ESİN HANDE BAYRAK
(201092102015)**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr.Ergün PEHLİVAN

**SİVAS
2014**

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Yrd.Doç.Dr.Ergün PEHLİVAN**
Cumhuriyet Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Doç.Dr.Bilal TUNÇSİPER**
Niğde Üniversitesi



Yrd.Doç.Dr.Fatih POLAT
Gaziosmanpaşa Üniversitesi



Yrd.Doç.Dr.Sayiter YILDIZ
Cumhuriyet Üniversitesi



Yrd.Doç.Dr.Eyüp ATMACA
Cumhuriyet Üniversitesi



ONAY

Bu tez çalışması, 08.07.2014 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.



Prof.Dr.Mustafa DEĞİRMENÇİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ÖZET

KENTSEL VE/VEYA MEYVE SUYU ATIKSU ARITMA TESİSİ SULU ÇAMURLARININ BİYOGAZA DÖNÜŞÜMÜNDE ÖN İŞLEM ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Esin Hande BAYRAK

Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr.Ergün PEHLİVAN

2014, 176 sayfa

Endüstriyel ve evsel atıksuların arıtımında kullanılan anaerobik arıtma teknolojisi; yaklaşık yüz yıl önce kullanılmaya başlanan, eski bir teknolojidir. Anaerobik arıtmaya olan ilgi; aerobik arıtma sırasında ortaya çıkan çamurun fazlalığı ve bu çamurun yarattığı çevre sorunları ile anaerobik arıtmada enerji geri kazanımı sebepleriyle artmıştır. Anaerobik arıtım ile; arıtma derecesine bağlı olarak, son ürün olarak temiz enerji kaynağı olan biyogaz elde edilmektedir. Anaerobik arıtma işleminin en önemli avantajı; çamurun stabilize edilerek, organik madde içeriğinin azaltılması ve biyokatı adı verilen çevreye zararsız, kolay susuzlaştırılabilen ve kompost olarak kullanılabilen bir maddeye dönüştürülmesidir. Anaerobik arıtma işleminin diğer bir avantajı ise; anaerobik çürümenin son ürünü olan biyogazın bünyesindeki metanın enerji elde etmek amacıyla kullanılabilmesidir.

Bu çalışmada, atıksuların arıtılmasıyla üretilen biyolojik arıtma çamuru ve meyve suyu üretim işletmelerinden çıkan arıtma çamuru hammadde olarak kullanılmıştır. Hammaddelerden biyogaz üretim verimleri ve verimin artırılması için bazı ön işlemler uygulanmıştır. Çalışmada kütlege % 10 katı madde içeren sulu fazlar hazırlanmıştır. Bu karışımlara yapılan ön işlemler; sulu fazlara katı maddenin kütlege % 10, 15 ve 20'si kadar kimyasal madde (H_2SO_4 veya $NaOH$) ekleme, kimyasal madde ilave edilmiş ve edilmemiş sulu karışımları, ayrı ayrı mikrodalga ve hot plate ısıtma işlemlere tabi tutma (10, 20, 30 min sürelerinde) şeklindedir. Yapılan ön işlemlerin ardından, ön işlemsiz ve ön işlemlili sulu fazlarda, katı maddelerin suda çözünme yüzdeleri saptanmıştır. En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı, sulu

fazların pH'ları, asit ve baz kullanılarak 7'ye ayarlanmıştır. Ardından; sulu fazlar 35 °C'de, 65 gün süreyle inkübatörde bekletilmiş ve 5 günde bir, sulu fazlardaki biyogaz, metan, BOI_5 , KOI , MLSS, pH ve uçucu madde ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen biyogaz sonuçları Duncan testi başta olmak üzere çeşitli modeller kullanılarak, biyogaz üretimine en uygun model belirlenmiştir.

Çalışma sonunda; Dimes Meyve Suyu Atıksu Arıtma Tesisi için; ön işlemsiz numunede suda çözünme değeri % 49,56'dan ön işlem sonrası (% 15 NaOH+10 min ısı MW) % 89,85'e çıkmıştır. Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi çamurda; ön işlemsiz numunede suda çözünme değeri % 51,96'dan ön işlem sonrası (% 20 H_2SO_4 +10 min ısı MW) % 84,21'e çıkmıştır. Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası çamurda; ön işlemsiz numunede suda çözünme değeri % 49,4'den ön işlem sonrası (% 20 NaOH+30 min ısı HP) % 70,01'e çıkmıştır. % 50 Dimes Meyve Suyu Atıksu Arıtma Tesisi çamuru ile % 50 Tokat AAT biyogaz öncesi çamuru karışımında ise; ön işlemsiz numunede suda çözünme değeri % 49,38'den ön işlem sonrası (% 20 H_2SO_4 +30 min ısı HP) % 83,01'e çıkmıştır.

Biyogaz verimlerine bakıldığı zaman, Tokat AAT biyogaz öncesi çamurunun % 20'lik H_2SO_4 +10 min ısı MW ön işlemi sonunda suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogaz üretim verimi (396,34 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) elde edilmiştir. Kullanılan g çamur başına en yüksek biyogaz üretim verimi (23,40 mL biyogaz/g çamur) ise % 50 Dimes Meyve Suyu Atıksu Arıtma Tesisi çamuru ile % 50 Tokat AAT biyogaz öncesi çamuru karışımının % 20 H_2SO_4 +30 min ısı MW ön işleminin sonunda elde edilmiştir. Giderilen UM başına elde edilen en yüksek biyogaz üretim verimi de (722,32 mL biyogaz/ g UM giderimi) Tokat AAT biyogaz öncesi çamurun yine % 20 H_2SO_4 +10 min ısı MW ön işlemi sonunda elde edilmiştir.

65 günlük mezofilik parçalanma sonunda metan içeriği % 42,60 ile % 58,90 arasında bulunmuştur.

Yapılan çalışma sonucunda tüm ön işlemler hem suda çözünmeyi, hem de biyogaz üretim verimini artırmıştır. Dimes Meyve Suyu arıtma çamuru ile atıksu arıtma tesisi arıtma çamurunun karıştırılarak biyogaz eldesinde kullanılması hem bu atığın biyogaz verimliliğini artırarak ekonomik olarak değerlendirilmesi, hem de, kentsel atıksu arıtımı sebebiyle Tokat AAT'nden çıkan çamurda zaman zaman

problem yaratan yüksek AOX değerinin seyrelmeyle kabul edilebilir limitlere indirilmesini sağlayacaktır.

Öte yandan Tokat AAT biyogaz sonrası çamur numunelerinde de, önişlemsiz numuneler açısından arıtma tesisinde kullanılan çamurun % 67,74 oranında biyogaza dönüştüğü kalan oranın biyogaz sonrası çamura geçtiğı tespit edilmiştir.

Tesisteki 22 günlük inkübasyon sonunda üretilen elektrikle, tesisin ihtiyacı olan elektriğın % 36'sı karşılanmaktadır. Deneysel alışmalar sonunda 22 günlük biyogaz verileri kullanıldığında; % 20'lik H₂SO₄+10 min ısı MW ön işleminde sonunda biyogaz üretim verimi 3,41 kat artmakta bu durumda da; tesisin ihtiyacı olan tüm elektrik karşılandığı gibi, üretilen elektriğın % 23'ü kadar fazladan elektrik üretimi söz konusu olacaktır. EPDK 2014 verilerine göre bu elektrikten yılda 110.230 TL kazanç sağlanabilecektir.

Anahtar kelimeler: Biyogaz, arıtma çamuru, ön işlem, modelleme

ABSTRACT

INVESTIGATING THE EFFECTS OF PRETREATMENT IN THE CONVERSION OF WET SLUDGE FROM URBAN SOURCES AND/OR FRUIT JUICE WASTEWATER TREATMENT PLANTS INTO BIOGAS

Esin Hande BAYRAK

Ph.D. Thesis, Department of Environmental Engineering

Advisor: Assistant Professor Ergün PEHLİVAN

2014, 176 pages

The anaerobic treatment technology used in the treatment of industrial and domestic wastewater is an old technology which was introduced a hundred years ago. The interest in anaerobic treatment has increased due to some reasons such as excess sludge resulting during aerobic treatment and the environmental issues created by this output of sludge, and the recycling of the energy through anaerobic treatment. Depending on the degree of treatment, anaerobic treatment yields biogas as an end product, which is a source of clean energy. The most important advantage of anaerobic treatment is that the sludge is stabilized, its organic content is reduced and that it is converted into an environment friendly, easily dehydrated substance called bio-solid, which can also be used as compost. Another advantage of anaerobic treatment is that the methane in the biogas, the end product of anaerobic digestion, can be utilized to produce energy.

In this study, the biological treatment sludge from treated wastewater and the treatment sludge from fruit juice processing plants were used as raw material. Some pretreatments were applied to increase the efficiency of biogas production from the raw material. Aqueous phases containing 10 % solid matter by mass were prepared in the study. The pretreatments applied to these mixtures were adding chemical substances (H_2SO_4 or NaOH), 10, 15 or 20 % of the solid matter by mass, into the aqueous phases and subjecting aqueous mixtures with chemical content and those without chemical content to heat treatment separately in microwave and hotplate

(in 10, 20 and 30 min durations). After the preliminary process, the water solubility percentages of the solid substances in aqueous phases with pretreatment and without pretreatment were determined. The pHs of the aqueous phases which yielded the highest water solubility were adjusted to 7 using acid and base. Then the aqueous phases were incubated for 65 days at 35 °C, and the biogas, methane, BOD₅, COD, MLSS, pH, and volatiles in the aqueous phases were measured every five days. Based on the findings, the most appropriate model to produce biogas was determined using various models, mainly the Duncan test.

At the end of the study, the water solubility value in the sample without pretreatment from Dimes Fruit Juice Wastewater Plant increased from 49.56 % to 89.85 % following pretreatment (15 % NaOH+10 min MW). In Tokat AAT pre-biogas sludge, the water solubility value in the sample without pretreatment increased from 51,96 % to 84,21 % after pretreatment (20 % H₂SO₄+10 min MW). In Tokat AAT post-biogas sludge, the water solubility value in the sample without pretreatment increased from 49,4 % to 70,01 % after pretreatment (20 % NaOH+30 min HP). In the mixture involving 50 % Dimes Fruit Juice Wastewater Plant sludge and 50 % Tokat AAT pre-biogas sludge, the water solubility value in the sample without pretreatment increased from 49.38 % to 83.01 % after pretreatment (20 % H₂SO₄+30 min HP).

Considering the biogas yields, the highest biogas production yield per water soluble solid matter was obtained following 20 % H₂SO₄+10 min MW pretreatment of Tokat AAT pre-biogas sludge (396,34 mL biogas/g water soluble solid matter). The highest biogas production yield per g sludge was obtained following 20 % H₂SO₄+30 min HP pretreatment of 50 % Dimes Fruit Juice Wastewater Plant sludge and 50 % Tokat AAT pre-biogas sludge mixture (23.40 mL biogas/g sludge). The highest biogas production yield per treated UM was obtained following 20 % H₂SO₄+10 min MW pretreatment of Tokat AAT pre-biogas sludge (722,32 mL biogas/g treatment).

After 65 days of mesophilic digestion, it was found that the methane content range from 42,60 % to 58,90 %.

As a result of the implementations, all pretreatments increased both water solubility and biogas production efficiency. Using Tokat AAT sludge in biogas

production by mixing it with Dimes Fruit Juice Wastewater Treatment Plant sludge will both ensure the economical evaluation of this waste by increasing the biogas yield of it and thin out the AOX value emerging in Tokat AAT sludge and sometimes causing problems due to urban wastewater treatment and help reduce this value to acceptable limits.

On the other hand, it was determined that in Tokat AAT post-biogas sludge samples, the sludge used in the treatment plant regarding samples without pretreatment converted to biogas in 67.74 % rate and that the remaining proportion transferred to post-biogas sludge.

36 % of the electricity need of the plant can be met with the electricity produced at the end of the 22 days of incubation in the plant. Based on the 22 day biogas data, it can be seen that the biogas production yield increases 3.41 times as a result of 20 % H_2SO_4 + 30 min MW pretreatment. In this case, not only will all the power need of the plant be met, there will also be surplus electricity production, as much as 23 % of the total production. According to EPDK (EMRA) data, a TL 110.230 gain will be obtained from this electricity annually.

Key Words: Biogas, treatment sludge, pretreatment, modeling

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez konusunun seçiminden tamamlanmasına kadar her türlü konuda deneyim ve bilgilerini paylaşan ve yol gösteren danışmanım Sn.Yrd.Doç.Dr.Ergün PEHLİVAN'a, konu ile ilgili tecrübelerini aktaran ve değerli zamanını ayıran Tokat Atıksu Arıtma Tesisi Müdürü Çevre Mühendisi Alim ÇİĞDEM ve doktora eğitimim boyunca ders aldığım değerli Çevre Mühendisliği Bölümü Hocalarıma, özellikle değerli hocam Prof.Dr.Mustafa DEĞİRMENCİ'ye ve katkı yapan herkese sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca, hayatımın her anında, yaşadığım her türlü zorlukta yanımda olan, sevgilerini ve anlayışlarını bir gün bile esirgemeyen annem Leyla BAYRAK, babam Doğan BAYRAK, abim Emre BAYRAK ve nişanlım Umut IŞIK'a sonsuz sevgi ve saygılarımla teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak manevi kardeşim Semire KALPAKÇI YOKUŞ'a destekleri, yardımları ve her zaman yanımda olduğu için çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xxii
1 GİRİŞ	1
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1 Arıtma Çamurları	3
2.2 Biyogazın Tarihçesi	4
2.3 Biyogazın Tanımı	6
2.4 Biyogazın Özellikleri	6
2.5 Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller	7
2.5.1 Hayvansal Atıklar	7
2.5.2 Bitkisel Atıklar	7
2.5.3 Kentsel ve Endüstriyel Atıklar	7
2.6 Biyogazın Oluşum Aşaması	8
2.7 Biyogaz Oluşumunun Avantaj ve Dezavantajları	9
2.8 Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler	10
2.8.1 Sıcaklık	10
2.8.2 pH	10
2.8.3 C/N oranı	11
2.8.4 Karıştırma	11
2.8.5 Atık Yükleme Hızı	12
2.8.6 Toksik İçeriklerin Etkisi	12
2.8.7 Alıkonma Süresi	13
2.9 Hammadde Beslemesine Göre Biyogaz Tesisleri	13
2.9.1 Kesikli (Batch) Fermantasyon	13
2.9.2 Beslemeli-Kesikli Fermantasyon	13
2.9.3 Sürekli Fermantasyon	13
2.10 Ülkemizde Sanayi Ölçekli Biyogaz Çalışmaları	14
2.10.1 Tokat Atıksu Arıtma Tesisi Kojenerasyon Santrali	14
2.10.2 Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi Kojenerasyon Santrali	15
2.10.3 Muğla Atıksu Arıtma Tesisi Kojenerasyon Santrali	15
2.10.4 Mamak Çöp Gazı Santrali	16
2.10.5 İstanbul Çöp Gazı Santrali	17
2.10.6 Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Bulunan Katı Atıklardan Çıkan Metan Gazından Enerji Üretimi	17
2.10.7 Bolu Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Bulunan Katı Atıklardan Çıkan Metan Gazından Enerji Üretimi	18
2.11 Biyogaz İle İlgili Yapılan Çalışmalar	19
2.11.1 Ülkemizde Yapılan Lisansüstü Tezler	19
2.11.2 Uluslararası Bilimsel Çalışmalar	26

2.11.3 Anaerobik Arıtımda Duncan Testi Çalışmaları	28
2.11.4 Anaerobik Arıtımda Modelleme Çalışmaları	30
3 MATERYAL ve METOT	32
3.1 Çalışmada Kullanılan Hammaddeler	32
3.2 Tokat AAT Arıtma Çamuru Üretimi, Örneklerin Alınması ve Hazırlanması	32
3.3 Meyve Suyu Üretimi, Örneklerin Alınması ve Hazırlanması	32
3.4 Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar	32
3.5 Çalışmada Kullanılan Metotlar	34
3.6 Çalışmada Kullanılan Hammaddelerle İlgili Analizler	34
3.6.1 Nem ve Katı Madde Tayini	34
3.6.2 Kül Tayini	34
3.6.3 UM, BOİ ₅ , KOİ ve MLSS Derişimlerinin Saptanması	35
3.7 Çalışmada Kullanılan Hammaddelere Uygulanan Ön İşlemler	35
3.7.1 Oda Sıcaklığında Uygulanan Ön İşlemler	37
3.7.1.1 Kimyasal Ön İşlemler	37
3.7.1.2 Isıl HP (Hot Plate) Ön İşlemler	37
3.7.1.3 Isıl MW (Microwave) Ön İşlemler	38
3.7.1.4 Kimyasal-Isıl HP Ön İşlemler	38
3.7.1.5 Kimyasal-Isıl MW Ön İşlemler	39
3.8 Suda Çözünürlüklerin Saptanması	39
3.9 Seçilen Sulu Fazların Analizler İçin Hazırlanması	41
3.10 Anaerobik İşlem Süresince Oluşan KOİ, BOİ ₅ , MLSS, UM Derişimlerinin ve Biyogaz, Metan Miktarlarının Saptanması	44
3.11 Biyogaz Üretim Verimlerine Uygulanan İstatistiksel Analiz	45
3.12 Günlük ve Kümülatif Biyogaz Üretim Miktarlarına Uygulanan Modelleme Çalışması	47
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	49
4.1 Hammaddelerin Alındığı Tesisler, Çamur Üretimi ve Çamur Özellikleri	49
4.1.1 Tokat Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi	49
4.1.2 Dimes A.Ş. Muhtelif Sebze, Meyve Suyu, Alkollü ve Alkolsüz İçecekler Üretim Tesisi	57
4.2 Hammaddelerin Özellikleri	61
4.3 Ön işlemsiz ve Ön işlemlili Numunelerde Suda Çözünme Bulguları	62
4.3.1 Ön işlemsiz Numunelerde Suda Çözünme Bulguları	62
4.3.2 Kimyasal Ön İşlem	63
4.3.3 Isıl HP Ön İşlem.....	67
4.3.4 Isıl MW Ön İşlem.....	71
4.3.5 Kimyasal-Isıl HP Ön İşlem	75
4.3.6 Kimyasal-Isıl MW Ön İşlem	79
4.4 Ön işlemsiz ve Ön işlem Uygulanmış Hammaddelerde Suda Çözünmeler Genel Değerlendirme	83
4.5 Ön işlemsiz ve Ön işlemlili Çamur Örneklerinden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri...	85
4.5.1 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamurundaki Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi	86

4.5.2 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamurundaki Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi.....	92
4.5.3 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamurundaki Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi.....	98
4.5.4 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımındaki Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi	104
4.6 Çalışmada Kullanılan Örneklerde Biyogaz ve Metan Üretim Verimi Genel Değerlendirme	110
4.7 Ön işlemsiz ve Ön işlemlili Çamur Örneklerinden Elde Edilen Sulu Fazlardaki pH ve MLSS, KOİ, BOİ ₅ Derişiminin Zamanla Değişimi.	118
4.8 Çalışmada Kullanılan Örneklerden Elde Edilen Sulu Fazlardaki pH ve MLSS, KOİ, BOİ ₅ Derişimleri Genel Değerlendirme	125
4.9 Anaerobik İşlemlerde Kullanılan Sulu Fazlarda UM Değişimleri	128
4.9.1 Kullanılan Örnekler	128
4.9.2 Örneklerin UM Miktarlarının Zamanla Değişimi	128
4.10 Çalışmada Kullanılan Örneklerde UM Değişimleri Genel Değerlendirme	135
4.11 Arıtma Çamurlarının Sulu Fazlarında Oluşan Biyogaz Üretim Verimlerinin İstatistiki Açından Değerlendirilmesi	136
5. MODELLEME	140
5.1 Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT Arıtma Çamurundan Üretilen Biyogaz Miktarlarının Modellenmesi	140
5.2 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamurundan Üretilen Biyogaz Miktarlarının Modellenmesi	146
5.3 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamurundan Üretilen Biyogaz Miktarlarının Modellenmesi	152
5.4 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT Arıtma Çamuru Karışımından Üretilen Biyogaz Miktarlarının Modellenmesi	158
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	165
KAYNAKLAR	170
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Tokat atıksu arıtma tesisine ait çamur homojenizasyon tankı ve biyogaz depolama tankından bir görünüş 14
Şekil 2.2	Kayseri atıksu arıtma tesisinden genel görünüş 15
Şekil 2.3	Muğla atıksu arıtma tesisi kojenerasyon santralinden bir görünüş .. 16
Şekil 2.4	Mamak çöp gazı santralinden genel görünüş 16
Şekil 2.5	İstanbul çöp gazı santralinden genel görünüş 17
Şekil 2.6	Gaziantep Belediyesi'ne ait çöp gazı santralinden bir görünüş 18
Şekil 2.7	Bolu Belediyesi'ne ait çöp deponi alanından bir görünüş 18
Şekil 2.8	Yıllara göre "biyogaz" ile ilgili yapılan lisansüstü tez sayıları 19
Şekil 2.9	Biyogaz ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin yapılış amaçlarına göre dağılımı 20
Şekil 2.10	Biyogaz ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin yapıldığı bölümlere göre dağılımı 20
Şekil 2.11	Biyogaz ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin üniversitelere göre dağılımı 21
Şekil 2.12	Tez çalışmalarında kullanılan hammaddelere göre lisansüstü tezlerin dağılımı 21
Şekil 3.1	Mikrodalga fırın ve 4 gözlü ceket ısıtıcı 33
Şekil 3.2	Arıtma çamuruna uygulanan işlemler ve işlemlerin akım şeması..... 36
Şekil 3.3	Isıl ön işlem uygulama düzeneğinden bir görünüş 37
Şekil 3.4	Mikrodalga ön işlem düzeneğinden bir görünüş 38
Şekil 3.5	Sulu faza geçmeyen katı kısmın etüvde kurutulması ve etüvden çıkartılan örneklerin tartılmadan önce desikatörde soğutulması 40
Şekil 3.6	Numunelerin suda çözünme işleminden sonra tartılması 40
Şekil 3.7	Suda çözünme işlemi sonunda şişelenmiş sulu fazlar 41
Şekil 3.8	Örneklerin pH'larının ayarlanması 41
Şekil 3.9	Anaerobik işlem için serum şişelerinin hazırlanması 42
Şekil 3.10	Analiz için kullanılacak şişeler ve numunelerin doldurulması 42
Şekil 3.11	Aşı çözeltisinin filtre edilerek, kullanıma hazır hale getirilmesi 43
Şekil 3.12	Kapakları kapatılmış ve bantlanmış serum şişeleri 43
Şekil 3.13	a. Azot gazı tüpü b. Örneklere azot gazı basılması 44
Şekil 3.14	a. Anaerobik işlemdeki örneklerin inkübatörde 35°C'de bekletilmesi, b. Analizlerin yapıldığı şişelerde oluşan gazın boşaltılması 44
Şekil 3.15	Biyogaz ve metan ölçümünde kullanılan Orsat tipi gaz ölçüm aleti. 45
Şekil 4.1	Tokat AAT akım şeması 51
Şekil 4.2	Tokat AAT çamur homojenizasyon tankı ve anaerobik çamur çürütme tankı 52
Şekil 4.3	Tokat AAT besleme pompaları 52
Şekil 4.4	Tokat AAT resirkülasyon pompası 53
Şekil 4.5	Tokat AAT Eşanjör 54
Şekil 4.6	Tokat AAT biyogaz depolama tankı 54
Şekil 4.7	Tokat AAT meşale 54
Şekil 4.8	Tokat AAT brülör-kazan 55
Şekil 4.9	Tokat AAT kojenerasyon ünitesi 55

Sekil 4.10	Meyve suyu sanayi paket arıtma tesisi	59
Şekil 4.11	Tokat AAT nötralizasyon tankı	60
Şekil 4.12	Tokat AAT havalandırma ve çöktürme havuzları	60
Şekil 4.13	Tokat AAT çamur kekinin kamyonlara yüklenmesi	61
Şekil 4.14	Ön işlemsiz (Oda sıcaklığında bekletilmiş) numunelerin suda çözünürlükleri	63
Şekil 4.15	Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal ön işlem sonucu suda çözünürlük	63
Şekil 4.16	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal ön işlem sonucu suda çözünürlük	64
Şekil 4.17	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal ön işlem sonucu suda çözünürlük	65
Şekil 4.18	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan kimyasal ön işlem sonucu suda çözünürlük	66
Şekil 4.19	Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük	67
Şekil 4.20	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük	68
Şekil 4.21	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük	69
Şekil 4.22	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük	70
Şekil 4.23	Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük	71
Şekil 4.24	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük	72
Şekil 4.25	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük	73
Şekil 4.26	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu sanayi AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan ısı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük	74
Şekil 4.27	Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük....	75
Şekil 4.28	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük....	76
Şekil 4.29	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük....	77
Şekil 4.30	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük....	78
Şekil 4.31	Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük..	79
Şekil 4.32	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük..	80
Şekil 4.33	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük..	81

Şekil 4.34	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük..	82
Şekil 4.35	Ön işlemsiz Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	86
Şekil 4.36	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek kimyasal ön işlem uygulanmış meyve suyu sanayi AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	87
Şekil 4.37	10 min ısı MW ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	88
Şekil 4.38	10 min ısı MW ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	89
Şekil 4.39	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek 20 min ısı HP ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	90
Şekil 4.40	% 15'lik NaOH ilave edilerek 10 min MW ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	91
Şekil 4.41	Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	92
Şekil 4.42	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek kimyasal ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	93
Şekil 4.43	30 min ısı HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	94
Şekil 4.44	10 min ısı MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	95
Şekil 4.45	% 20'lik NaOH ilave edilerek 30 min ısı HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	96
Şekil 4.46	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek 30 min ısı MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	97
Şekil 4.47	Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz miktarı	98
Şekil 4.48	% 10'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek kimyasal ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	99
Şekil 4.49	30 min ısı HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz miktarı	100
Şekil 4.50	10 min ısı MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz miktarı	101

Şekil 4.51	% 20'lik NaOH ilave edilerek 10 min ısıt HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	102
Şekil 4.52	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek 10 min ısıt MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	103
Şekil 4.53	Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	104
Şekil 4.54	% 15'lik NaOH ilave edilerek kimyasal ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	105
Şekil 4.55	30 min ısıt HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	106
Şekil 4.56	30 min ısıt MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	107
Şekil 4.57	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek 30 min ısıt HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	108
Şekil 4.58	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek 20 min ısıt MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı	109
Şekil 4.59	Suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogazın üretildiği, Tokat AAT biyogaz öncesi arıtma çamuru ve Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT çamuru karışımından üretilen biyogazın, BOİ ₅ , KOİ, MLSS derişimlerinin zamana bağılı değışimi	118
Şekil 4.60	Suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogazın üretildiği, Tokat AAT biyogaz sonrası arıtma çamurundan üretilen biyogazın, BOİ ₅ , KOİ, MLSS derişimlerinin zamana bağılı değışimi	120
Şekil 4.61	Suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogazın üretildiği, Tokat AAT biyogaz öncesi arıtma çamurundan üretilen biyogazın, BOİ ₅ , KOİ, MLSS derişimlerinin zamana bağılı değışimi	121
Şekil 4.62	Suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogazın üretildiği, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT çamurundan üretilen biyogazın, BOİ ₅ , KOİ, MLSS derişimlerinin zamana bağılı değışimi	122
Şekil 4.63	4 ayrı çamur numunesi için, ön işlemsiz sulu çamur örneklerinde zamana bağılı olarak pH değışimi	123
Şekil 4.64	4 ayrı çamur numunesi için, katı madde başına en yüksek biyogazın elde edildiği ön işlem koşullarında sulu çamur örneklerinde zamana bağılı olarak pH değışimi	123

Şekil 4.65	Katı madde başına en yüksek biyogazın üretildiği, Tokat AAT biyogaz öncesi arıtma çamurunda üretilen biyogazın ve pH değişiminin zamana bağlı değişimi	124
Şekil 4.66	Çamur başına en yüksek biyogazın üretildiği, Tokat AAT biyogaz öncesi arıtma çamuru ve Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımından üretilen biyogazın ve pH değişiminin zamana bağlı değişimi	125
Şekil 4.67	Ön işlemsiz Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamurundaki UM'nin zamanla değişimi	129
Şekil 4.68	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek 20 min ısıt HP ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi	129
Şekil 4.69	Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurundaki UM'nin zamanla değişimi	130
Şekil 4.70	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek 30 min ısıt MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi	131
Şekil 4.71	Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurundaki UM'nin zamanla değişimi	132
Şekil 4.72	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek 10 min ısıt MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi	132
Şekil 4.73	Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi ile Tokat Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi	133
Şekil 4.74	% 20'lik H ₂ SO ₄ ilave edilerek 20 min ısıt MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi	134
Şekil 5.1	(a) Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi	140
Şekil 5.1	(b) Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi	141
Şekil 5.2	(a) Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi	141
Şekil 5.2	(b) Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi	142
Şekil 5.3	Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazındaki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi	142
Şekil 5.4	Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi	144
Şekil 5.5	Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan Gompertz eğrisi	145
Şekil 5.6	(a) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi	146
Şekil 5.6	(b) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi	147
Şekil 5.7	(a) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi	147

Şekil 5.7	(b) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi	148
Şekil 5.8	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazındaki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi	148
Şekil 5.9	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi	150
Şekil 5.10	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan Gompertz eğrisi	151
Şekil 5.11	(a) Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi	152
Şekil 5.11	(b) Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi	153
Şekil 5.12	(a) Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi	153
Şekil 5.12	(b) Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi	154
Şekil 5.13	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazındaki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi	154
Şekil 5.14	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi	156
Şekil 5.15	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan Gompertz eğrisi	157
Şekil 5.16	(a) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki artan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi	158
Şekil 5.16	(b) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi	159
Şekil 5.17	(a) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki artan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi	159
Şekil 5.17	(b) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi	160
Şekil 5.18	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi	160
Şekil 5.19	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi	162
Şekil 5.20	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan Gompertz eğrisi	163

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Biyogaz teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları 9
Çizelge 3.1	Analizi yapılan parametreler ve analiz metotları 34
Çizelge 4.1	Tokat AAT biyogaz ünitesine günlük verilen çamur miktarı, tesisin günlük biyogaz ve elektrik üretim miktarları 56
Çizelge 4.2	Üretimi yapılan ürünler ve günlük üretim kapasiteleri 57
Çizelge 4.3	Üretim esnasında kullanılan hammaddeler ve miktarları 57
Çizelge 4.4	Tesiste açığa çıkan atıksu miktarı ve deşarj edileceği ortam 58
Çizelge 4.5	Arıtma çamuru örnekleri analiz sonuçları 62
Çizelge 4.6	Hammaddelerin ön işlemsiz ve ön işlemlili olarak yüzde suda çözünme değerleri 83
Çizelge 4.7	Anaerobik işlem süresince Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerinde üretilen kümülatif biyogaz ve metan miktarları, gram katı madde başına biyogaz ve metan üretim verimleri ve hacimsel metan yüzdesi..... 110
Çizelge 4.8	Anaerobik işlem süresince Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerinde üretilen kümülatif biyogaz ve metan miktarları, gram katı madde başına biyogaz ve metan üretim verimleri ve hacimsel metan yüzdesi..... 111
Çizelge 4.9	Anaerobik işlem süresince Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerinde üretilen kümülatif biyogaz ve metan miktarları, gram katı madde başına biyogaz ve metan üretim verimleri ve hacimsel metan yüzdesi 112
Çizelge 4.10	Anaerobik işlem süresince Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımlarının ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerinde üretilen kümülatif biyogaz ve metan miktarları, gram katı madde başına biyogaz ve metan üretim verimleri ve hacimsel metan yüzdesi..... 113
Çizelge 4.11	Anaerobik işlem süresince arıtma çamuru numunelerinin ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerindeki gram suda çözünmüş KM başına biyogaz ve metan üretim verimleri 114
Çizelge 4.12	Anaerobik işlem süresince arıtma çamuru numunelerinin ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerindeki gram çamur başına biyogaz ve metan üretim verimleri 116
Çizelge 4.13	Günlük BOİ ₅ , KOİ giderimi ve MLSS değişimine göre biyogaz verimleri 126
Çizelge 4.14	Örneklerde BOİ ₅ , KOİ ve MLSS giderim yüzdeleri 127
Çizelge 4.15	Arıtma çamuru ön işlemlili ve ön işlemsiz numunelerine uygulanan anaerobik işlemler sonucu oluşan biyogaz ve metan üretim verimleri 135
Çizelge 4.16	Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamurundaki biyogaz üretim verimlerine uygulanan Duncan Testi sonuçları 136
Çizelge 4.17	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurundaki biyogaz üretim verimlerine uygulanan Duncan testi sonuçları 137
Çizelge 4.18	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurundaki biyogaz üretim verimlerine uygulanan Duncan testi sonuçları 138

Çizelge 4.19	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımındaki biyogaz üretim verimlerine uygulanan Duncan testi sonuçları	138
---------------------	--	-----

KISALTMALAR DİZİNİ

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
BOİ₅	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
CH₄	Metan
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HP	Hot Plate, Isıtıcı Tabla
HRT	Hydraulic Retention Time (Hidrolik Alıkonma Süresi)
İZAYDAŞ	İzmit Atık ve Artıkları Arıtma Yakma ve Değerlendirme A.Ş.
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
min	Minute (dakika)
MLSS	Mixed Liquor Suspended Solids (Karışık Sıvıda Askıda Katı Madde)
MW	Microwave, Mikrodalga (Ön işlemlerde)
MW	Megawatt
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde
TKM	Toplam Katı Madde
TMİKEK	Termoplastik Madde İhtiva Eden Karton İçeren Kutular
UM	Uçucu Madde
YAÇYA	Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Anaerobik Reaktör

1. GİRİŞ

Fosil kökenli enerji kaynaklarının (petrol, kömür, doğalgaz vb.) sınırlı ve tükenebilir olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal vb.) kurulum maliyetlerinin yüksek olması; biyokütlelerden enerji üretimine ilgiyi artırmıştır. Biyokütle, 100 yıllık periyottan daha kısa sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvansal atıklar, gıda endüstrisi atıkları ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren, biyolojik kökenli, fosil olmayan tüm organik maddeler olarak tanımlanmaktadır (Yorgun ve ark., 1998). Bu kaynaklardan elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi adı verilmektedir.

Biyokütlerde enerji depolanması; fotosentez yoluyla olmaktadır ve verimi % 1'in altındadır (Turkenburg, 2000; McKendry, 2002).

Biyokütle kavramı oldukça geniş olmasına karşın, enerji üretiminde kullanımı açısından bakıldığında; organik kökenli her türlü atık maddeyi kapsamaktadır. Biyokütlenin yakıt olarak kullanılabilmesi için, çeşitli işlemlere tabi tutulması gerekmektedir. Böylelikle biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynaklı olarak kullanılabilme imkanı doğabilmektedir. Ancak bu işlemlerin ekonomik ve işlevsel olması da sürekliliği açısından önem arz etmektedir. En ekonomik enerji kaynaklarından biri biyokütleden biyogaz üretimidir.

Biyogaz; bitkisel, hayvansal, endüstriyel ve evsel atıkların havasız ortamda mikrobiyal aktiviteler sonucu oluşan, çoğunluğunu metan (CH_4) ve karbondioksitin (CO_2) oluşturduğu bir gazdır. Atıkların anaerobik sindirimi sonucunda elde edilen biyogaz, diğer enerji türlerine göre temiz, ısı değeri yüksek bir enerji kaynağıdır ve biyogaz üretiminden sonra geriye kalan atıklar tarımda kullanılabilecek yüksek kaliteli gübre haline dönüşmektedir.

Dünyada özellikle kırsal kesimlerde yoğun talep gören biyogaz üretimi ile; tarımsal atıklar ve hayvan gübrelerinin değerlendirilmesi ve atıkların bu şekilde kontrol altına alınması, temiz ve sağlıklı bir çevre için önem taşımaktadır.

Evsel ve endüstriyel atık suların arıtılması sırasında; organik yükü fazla olan ve arıtma çamuru denilen atıklar da üretilmektedir. Üretilen atık suların çoğu, arıtılırken denetimsiz bir şekilde alıcı ortamlara (dere, nehir, göl, deniz, vb.) bırakılmaktadır. Günümüzde yasa ve yönetmeliklerle denetim altına alınmaya çalışılsa da, giderek artan endüstriyel ve evsel atıksu arıtma tesisleri ve bu tesislerin üretimleri sonucu oluşan arıtma çamurları, hiçbir değerlendirilmeye ve denetime tabi tutulmadan gelişigüzel atılmaktadır. Son yıllarda arıtma çamuru miktarlarındaki artış bugüne kadar göz ardı

edilen bazı gerçekleri ortaya çıkarmıştır. Özellikle bazı endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarında, kimyasal madde derişimlerinin yüksek olduğu rapor edilmiştir (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 2005).

Arıtma çamuru ile bilimsel çalışmalar yapılmaya başlandıkça, atık olarak görülen arıtma çamurunun ekonomik değerin de bulunduğu ve bazı işlemlerden geçirilerek değerlendirilebileceği görülmüştür. Atık olarak görülen bu maddenin, aslında biyogaz üretimi için hammadde olduğu ve biyogaz üretiminden sonra kalan kısmın kompost olarak değerlendirilmesinin ekonomik faydasının olduğu ön plana çıkmıştır (Halisdemir, 2009).

Bu çalışmada; meyve suyu sanayi atıksu arıtma tesisi (AAT) arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru ve % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının, farklı ön işlemler uygulanması ile biyogaza dönüşüm koşullarının araştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca anaerobik işlem sonucunda elde edilen biyogazın, biyogaz üretim verimleri, istatistiki açıdan değerlendirilmiş ve modelleme çalışması da yapılmıştır. Çalışmada kullanılan numunelerdeki biyogaz üretim verimleri, *SPSS 17* paket programındaki "Tesadüf Parselleri Deneme Planına" göre değerlendirilmiştir. Modelleme çalışmasında ise, numunelerin biyogaz üretim miktarları; *Sigmaplot-10* programı kullanılarak *Doğrusal*, *Üstel* ve *Gaussian Modelleri* 'ne uygulanmıştır. Kümülatif biyogaz miktarları ise, *Maksimum Üstel Artış* ve *Gompertz Modelleri* 'ne uygulanmıştır.

Bu çalışmada; laboratuvar şartlarında, arıtma çamuruna farklı ön işlemler uygulanarak elde edilen verilerle, ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz üretim verimleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda; tesiste biyogaz üretimi için kullanılan çamura, ön işlem uygulamanın hem biyogaz üretim verimini artıracak hem de üretilen fazla elektriğin satılarak ekonomik olarak bir getiri sağlayacak görülmüştür. Ayrıca kentsel atıksu arıtma tesisi çamurunda görülen yüksek AOX (Adsorplanabilir Organik Halojen) problemi, tesisin arıtma çamurunun, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru ile karıştırılması sonucunda, deşarj standardını sağlayarak sorun olmaktan çıkacak da düşünülmektedir. Bununla birlikte meyve suyu sanayi AAT'de oluşan ve kullanılmayan arıtma çamuru da, bu şekilde çöp olmaktan çıkacak ve faydalı bir amaç için kullanılmış olacaktır. Bu çalışma verileri, benzeri tesislerde üretilen biyogazın daha da arttırılması için örnek uygulama olarak kullanılabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Arıtma Çamurları

Arıtma çamuru literatür tanımıyla; evsel ve endüstriyel atıksuların ve içme sularının arıtılması sırasında, kendiliğinden çökebilen katı maddeler ile biyolojik ve kimyasal işlemler sonucunda ortaya çıkan, içerisinde % 0.25 ile % 12 oranında katı madde ihtiva eden akışkan özelliğe sahip bir maddedir. Ortalama çamur üretiminin kişi başına günde 40-60 g kuru madde olduğu belirtilmektedir (Metcalf ve Eddy, 1991).

Arıtma çamurlarının yapısı, arıtılan sudaki temel kirletici yüklere ve tesiste uygulanan teknik koşullara bağlıdır. Atıksu arıtımı, suda bulunabilecek kirleticiler üzerine yoğunlaşmaktadır ve bu nedenle arıtma çamurları askıda veya çözünmüş çok geniş çeşitlilikte maddeler içermektedir. Arıtma çamurunun içeriğinde; organik madde, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum gibi maddeler yanı sıra ağır metaller, organik kirleticiler ve patojenler bulunmaktadır (EEA, 1998). Çamurlar; heterojen bir yapıya sahip olup, su içinde çözünmüş ve çözünmemiş madde miktarları sabit olmayan karışımlardır (Kocasoy, 1996).

Biyolojik prosesler; atıksuların arıtılmasında, en etkili yöntemlerden biri olmasına ve çevre üzerinde minimum etkileri sağlamaya yönelik gelişmelere açık olmasına rağmen, çok büyük miktarlarda atık çamur üretmesi yönüyle önemli bir dezavantajı da beraberinde getirmektedir (Öztürk, 2008).

Çamurun arazide kullanımını etkileyen başlıca özellikleri; organik içerik, besin elementleri, patojenler, metal iyonları ve toksik organiklerdir. Çamurun tarım alanlarında kullanılması, bitki besin elementleri ve derişimlerine (azot, fosfor ve potasyum içeriği) bağlıdır. Araziye verilen çamur, bitki büyümesi için gereken besin elementlerini kısmen karşılar. Bazı uygulamalarda; çamurdaki fosfor ve potasyum derişimleri, bitki gereksinimini karşılayamayacak derişimde olabilir.

Atıksu arıtma tesislerinde; endüstriyel ve evsel atıksuların arıtılması sırasında üretilen arıtma çamurlarının uzaklaştırılmasında sorun yaşanmaktadır. Arıtma çamurları; atıldıkları ortamda biyolojik parçalanmaya uğrayarak, yeraltı ve yüzey sularını kirletmekte, oluşan gazlar atmosfere yayılarak hava kirliliğine neden olmaktadır (Baccini ve ark., 1987).

Endüstriler ve yerel yönetimler; çamurların uzaklaştırılması için sistemler kurmakta ve çamurun ekonomik değerinden faydalanmaya çalışmaktadırlar. Bu sistemlerden biri de, arıtma çamurlarından biyogaz elde ederek, atık halindeki bir

maddeden enerji sağlamaktır. Anaerobik parçalanma ile büyük miktardaki atık; yenilenebilir bir enerji kaynağı olan, metana dönüştürülmektedir.

2.2 Biyogazın Tarihçesi

Biyogaz kullanımının tarihçesi, Asurlular'a kadar uzanmaktadır. Asurlular ve daha sonra İranlıların; banyo amaçlı sıcak su hazırlamada, biyogaz kullandıkları çeşitli kaynaklarda belirtilmektedir (Lusk, 1998).

Özellikle gazlar üzerine çalışmaları ile tanınan Jan Baptista Van Helmont; 17. yüzyılda, organik maddelerin bozunması ile yanıcı gazların elde edilebildiğini belirtmiştir. İtalyan fizikçi Alessandro Volta (1776) ilk defa bataklıklarda görülen kabarcıkları yakarak bu gaza bataklık gazı adını vermiş ve organik maddelerin bozunma miktarlarıyla elde edilen yanıcı gaz arasında, pozitif bir korelasyon olduğunu belirtmiştir. Sir Humphry Davy, 1808'de, sığır gübresinin anaerobik fermantasyonu ile oluşan gazların içerisinde metan gazı varlığını ortaya koymuştur (Lusk, 1997).

Avagadro 1821'de metanı tanımlamış ve 1884'te Pasteur ve öğrencisi Gavon; hayvansal atıklardan biyogaz üretimi üzerine yaptığı çalışmada, 1m³ hayvan gübresinden, 35 °C'de, 100 L biyogaz üretmeyi başarmışlardır (Deublein ve Steinhäuser, 2008).

İlk biyogaz tesisi; Hindistan'ın Bombay kentinde, 1859 yılında kurulmuştur. Biyogazın sokak lambalarında kullanımı; 1895 yılında İngiltere'nin Exter Şehrinde gerçekleştirilmiştir. 1906'da Almanya'da lağım suları, ilk defa biyogaz üretiminde kullanılmıştır. 1930'lu yıllarda Buswell ve ark. anaerobik bakterileri tanımlayarak, metan üretimi için gereken koşulları ortaya koymuşlardır. II. Dünya Savaşı'ndan sonra duraksama gösteren biyogaz araştırmaları 1974'te yaşanan petrol krizinden sonra yeniden önem kazanmıştır (Lusk, 1997).

Son zamanlarda Avrupa ülkeleri; yüksek enerji fiyatlarının yanı sıra, artan sıkı çevresel önlemlerle, birlikte organik atıkların biyogaz üretiminde kullanımına yönelmişlerdir. Biyogaz tesislerinde; kentsel, tarımsal ve endüstriyel atıkların yaygın bir şekilde kullanıldığını gösteren kayıtlar artmaktadır. Avrupa'da bazı tesisler; yaklaşık 20 yılı aşkın bir süredir, faaliyet göstermektedir. Çiftlik ölçeğindeki biyogaz tesislerinin yanı sıra, Avrupa'da yüksek kapasitede merkezi biyogaz tesisleri devreye konulmuştur (Monnet, 2003).

Türkiye’de ise biyogaz ile ilgili çalışmaları, 1980 öncesi ve sonrası diye ikiye bölmek olasıdır. 1980 öncesinde çalışmalar; birkaç üniversite ve kamu kurumunda, yetersiz teknolojik bilgiyle ayrı ayrı yürütülmüştür. İlk çalışmalar 1957 yılında Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsünde başlatılmıştır (Bilir ve ark., 1982).

1960’lı yıllarda biyogazla ilgili yoğun çalışmalar yapılmış ve bazı Devlet Üretim Çiftliklerinde pilot tesisler kurulmuştur (Kaygusuz ve Türker, 2002).

Tarım Bakanlığı’na bağlı Topraksu Araştırma Enstitüsü bünyesinde 1963 yılında başlatılan çalışmalarla, 5 adedi Eskişehir Topraksu Araştırma Enstitüsünde, 2 adedi Eskişehir’in köylerinde ve biri de Çorum deneme istasyonunda olmak üzere toplam 8 adet biyogaz tesisi kurulmuştur. Çalışmalar, 1969 yılına kadar sürmüştür (Soylukan ve Akdoğan, 2001). Bunların bir kısmından iyi sonuç alınmasına karşılık, yönetimlerin biyogaza sıcak bakmamaları, çalışmaları yönlendirecek ve yürütecek kurumun olmaması, teknik eleman ve çiftçilerin yeterince eğitilememeleri gibi sebeplerden tesislerin bir kısmı yarım bırakılmış ya da bir müddet kullanıldıktan sonra istenilen verim alınamadığı gerekçesiyle terkedilmiştir (Köse, 1998).

1980 yılı sonrasında; UNICEF’in teknik bilgi ve finans yönünden desteklediği, koordinasyonun DPT tarafından sağlandığı çalışmalar başlatılmıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı gibi kurumlar yanında, MTA, TOPRAK-SU gibi kuruluşlar da, bu çalışmalara katılmışlardır. Bu çalışmalarda; Doğu illerinden başlayarak, biyogaz tesislerini kırsal kesimde yaygınlaştırmak amaçlanmıştır. Çalışmalar ilk olarak; Muş-Alpaslan Devlet Üretim Çiftliğinde, 35 m³’lük bir tesis kurularak başlatılmıştır. Çeşitli Devlet Üretim Çiftliklerinde, farklı iklim koşullarında pilot tesisler kurularak, test edilmiştir. 1982 yılında konuyla ilgili sorumluluk TOPRAK-SU’ya verilmiş, devletin köylülere sağladığı 1600 USD limitli, % 16 yıllık faizli kredilerle 1000 adet 6, 8, 12 ve 50 m³ boyutlarda biyogaz sistemleri kurulmuştur (Karakuşçu ve ark., 1981).

Yine 1984–1987 yılları arasında, Köy Hizmetleri Eskişehir Araştırma Enstitüsünde; Ankara’da ve Erzurum’da biyogazla ilgili araştırma projeleri yürütülmüştür (Bolu, 1987). Ayrıca bu yıllarda küçük ölçekli biyogaz tesislerinin projeleri, dergilerde ve kitaplarda kullanıcıya sunularak yaygınlaştırma çalışmalarına başlanmıştır (Göğüş, 1986). Kurulan sistemler; bazı değişiklikler dışında, Hint-Çin tipi sistemler olmuştur (Taşdemiroğlu, 1988). Bu çalışmalar da; organizasyon eksiklikleri ve projeler arasında iletişim kopukluğu nedeniyle, başarılı olamamıştır. Yapılan uygulamalarda verim alınamamasının en önemli sebebi olarak; reaktör sıcaklığının

istenilen seviyede tutulamaması gösterilmektedir. 1980'li yıllardan sonra, biyogazla ilgili çalışmalara ara verilmiştir (Köse, 1998; Kaygusuz ve Sarı, 2003).

Türkiye için, biyogazın; kırsal kesimde, özellikle ısıtma ve pişirme amaçlı kullanımı, ekonomik görülmektedir (Taşdemiroğlu, 1991). Türkiye'de sadece hayvansal atıklardan üretilebilecek biyogaz miktarı; 2,2–3,9 milyar m³ olarak tahmin edilmektedir (Demirbaş, 2004). Yine hayvansal atıklardan sağlanabilecek biyogaz potansiyeli yaklaşık olarak 53,6 PJ enerji eşdeğeri civarındadır (Acaroğlu ve ark., 2005).

2.3 Biyogazın Tanımı

Biyogaz; bitkisel ve hayvansal atıklar gibi organik atıkların, oksijensiz ortamlarda fermentasyonu sonucu oluşan ve bileşiminde % 60-70 metan, % 40-30 karbondioksit ve az miktarda hidrojen sülfür, hidrojen, karbon monoksit ve azot içeren, renksiz ve yanıcı bir gaz karışımıdır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

2.4 Biyogazın Özellikleri

Biyogaz; renksiz, kokusuz, havadan hafif, parlak mavi bir alevle yanan, yoğunluğu 1.21 kg/m³, oktan sayısı yaklaşık olarak 110, yanma sıcaklığı 700 °C, alev sıcaklığı 870 °C olan bir gaz karışımıdır. Biyogaz; ancak -164 °C'de sıvı hale gelebilen ve kolayca bozulmayan, sabit bir yapıya sahiptir. Biyogazın içerdiği gazların bileşimi; 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 edilebilecek enerjiyi etkilemektedir.

Biyogazın yakıt değeri, karışımındaki metan gazından ileri gelmektedir. Biyogazın, en önemli bileşeni olan metan gazının ısı değeri, ortalama 8.900 kcal/m³'tür. Bileşimindeki metan oranına bağlı olarak, biyogazın ısı değeri ise; yaklaşık olarak 4.700-5.700 kcal/m³ arasında değişmektedir. Biyogaz bileşiminde % 50'den daha az metan olması durumunda, biyogazdan verimli bir yanma sağlanamamaktadır (Yiğit, 2007).

Biyogazın yanması için, gerekli miktarda hava ile karışması ve tutuşma sıcaklığına ulaşması gerekmektedir. Bu nedenle, yanma ortamından geriye doğru alevin ilerleme tehlikesi çok azdır (Acaroğlu, 2003).

Biyogazın yanması sonucu; su buharı, CO₂, SO₂, azot oksitler, CO ve is oluşmaktadır. SO₂'nin nedeni, gazda bulunan H₂S'dir (Acaroğlu, 2003).

1 m³ biyogazın sağladığı ısı miktarı 4700-5700 kcal/m³'dür. 1 m³ biyogaz; 0,62 L gazyağı, 1,46 kg odun kömürü, 3,47 kg odun, 0,43 kg bütan gazı, 12,3 kg tezek ve 4,70 kWh elektrik enerjisi eşdeğerindedir. 1 m³ biyogaza; 0,66 L motorin, 0,75 L benzin ve 0,25 m³ propan eşdeğer yakıt miktarlarıdır (Url-1).

Biyogaz, içerisindeki metan bileşiminden dolayı doğalgaz ile benzerlikler gösterir. Doğalgaza göre daha düşük enerji içeriğine sahip olmasına rağmen, biyogaz temiz bir gazdır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

2.5 Biyogaz Üretiminde Kullanılabilen Materyaller

Biyogaz üretiminde; birçok atık maddenin kullanımı, söz konusu olabilmektedir. Bu atıklar, öncelikle organik içerikli olmalı ve anaerobik fermantasyon sonucu kolaylıkla metan gazına dönüşebilmelidir. Atıklar biyogaz üretiminde tek başına kullanılabileceği gibi, uygun oranlarda karıştırılarak da kullanılabilmektedir. Bu kriterler dikkate alınarak, biyogaz üretiminde kullanılabilecek organik atıkları aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir.

2.5.1 Hayvansal Atıklar

Biyogaz üretiminde kullanılan hayvansal atıklar; sığır, at, koyun, tavuk, domuz gibi hayvanların dışkıları, mezbahane atıkları ve hayvansal ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır (Ekinci, 2007).

2.5.2 Bitkisel Atıklar

Bitkisel atıklar; enerji bitkileri, algler, kültür bitkilerinin hasat sonrası atıkları; ince kıyılmış sap, saman, anız ve mısır atıkları, şeker pancarı yaprakları ve çimen atıkları gibi bitkilerin işlenmeyen kısımları ile bitkisel ürünlerin işlenmesi sırasında ortaya çıkan atıklardır. Ayrıca orman atıkları da biyogaz üretiminde kullanılan organik materyaller içinde sayılabilmektedir (Yiğit, 2007; Eryaşar, 2007).

2.5.3 Kentsel ve Endüstriyel Atıklar

Kentsel ve endüstriyel atıklardan; kanalizasyon ve dip çamurları, kâğıt, deri, tekstil, şeker ve gıda endüstrisi atıkları biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle belediyeler ve büyük sanayi tesisleri tarafından, bu atıklar; biyogaz üretiminde kullanılabilmektedir. Ancak belediyeye ait atıksu arıtma tesisi atıklarının anaerobik fermantasyonu diğer atıklara göre daha kompleks bir yapıya sahiptir. Çünkü bu atıklar,

toksik maddeler ve ağır metalar içermektedir (Eryaşar, 2007; Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

2.6 Biyogazın Oluşum Aşaması

Anaerobik işlem; moleküler oksijen yokluğunda organik maddelerin biyokimyasal parçalanması olarak tanımlanmaktadır. Anaerobik işlem; hidroliz, asit oluşumu ve metana dönüşüm olmak üzere üç basamaktan oluşmaktadır. Anaerobik çürüme işleminde; organik maddeler, biyolojik olarak parçalanarak, son basamakta CO₂ ve CH₄'e dönüşmektedir.

Organik maddelerin yapıları karmaşık olan ve kolay ayrışmayan maddelerden oluşmaktadır. Bu yapıların ayrışarak metana dönüşümü için, anaerobik ortamda farklı türden mikroorganizma gruplarının bulunması gerekmektedir. Bunlar hidroliz bakterileri, asit oluşturan bakteriler ve metan üreten bakterilerdir ve hepsi birbiriyle bağlantılıdır. Bu bakteri grupları sırayla üstlerine düşen görevleri yaptıkları zaman, diğer bakteri grupları için besin maddesi oluşturmakta ve böylece de organik bileşikleri parçalayabilmektedirler (Speece, 1996).

Anaerobik işlemin mikroorganizmalarla gerçekleştirildiği hidroliz, asit oluşumu ve metan oluşumu aşamalarında yürüyen olaylar aşağıda verilmiştir (Speece, 1996; Filibeli ve ark., 2000).

1. Hidroliz Aşaması : Kompleks organik bileşikler yapılarında; karbonhidratları, proteinleri ve yağları bulundurmaktadırlar. Bunlar parçalanırken, mikroorganizmaların hücre dışına salgıladıkları enzimlerle, daha küçük ve daha basit yapıda moleküllere dönüşmektedirler. Bu esnada, selüloz ve nişasta; basit şekere, proteinler ise; amino asitlere dönüşürler. Sadece yağ asitleri, hücre dışı enzimlerden etkilenmezler. Yağların hidrolizi çok yavaş gerçekleştiğinden, hidroliz aşaması; anaerobik işlemlerde biyolojik parçalanma hızını belirlemektedir.

2. Asit Oluşum Aşaması : Bu aşamada ortamda asit oluşturan fakültatif bakteriler hakimdir. Bunlar, karbonhidratlar, yağlar ve proteinlerden oluşan organik maddeleri; yağ asitleri, aldehitler ve alkoller gibi, hücre için gerekli olmayan maddelerin dışarı atıldığı ürünlere dönüştürürler. Bu esnada, pH düşer ve ortam asidik karakter alır. Asit oluşturan bakteriler yardımıyla; CO₂, metan ve az miktarda hidrojen sülfür meydana gelir. Asitleşme aşamasında; pH = 3-3,5 civarındadır ve ortamdaki KOİ derişimi, uzun

süre değişiklik göstermez. Ortam pH'ı ayarlandığında; belirli bir süre sonra, KOİ derişimi azalmaya başlar, bu metan bakterilerinin oluşmaya başladığı anlamına gelir.

3. Metan Oluşum Aşaması : Asit parçalayan ve metan oluşturan bakteriler, çevre şartlarına çok hassas ve mutlak şekilde anaerobik olan bakterilerdir. Bu şartlar; sıcaklık, pH ve oksijen yokluğudur. Metan bakterilerinin çoğalma hızı, asit oluşturan bakterilerinkinden oldukça yavaştır. Bu bakteriler, ancak belli bir maddeyi kullanabilme yeteneğine sahiptirler. Bu aşamada oluşan organik asitler, H₂ ve asetat; metan oluşturan mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve metan, karbondioksit, hidrojen sülfür, hidrojen ve amonyak gazlarının karışımından oluşan ve “Biyogaz” olarak adlandırılan gaz karışımına dönüştürülmektedir.

2.7 Biyogaz Oluşumunun Avantaj 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. Biyogaz teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.1’de gösterilmektedir (Bond ve Templeton, 2011).

Çizelge 2.1 Biyogaz teknolojilerinin avantajları ve dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
• Çevre sağlığı ile ilgili önlem alınması; Patojenlerin azaltılması Hastalık bulaşmasının azaltılması • Düşük maliyetli enerji kaynağı; ısıtma, aydınlatma vb. • Düşük maliyetli gübre üretimi; tarımsal ürünün arttırılması • Yaşam koşullarının iyileştirilmesi • Hava kalitesinin iyileştirilmesi • Sera gazı etkilerinin azaltılması • Nitro oksitlerin (N₂O) azaltılması • Alternatif yakıt talebinin azaltılması; Ağaç, tahta, odun kaynaklarının korunması Toprak erozyonunun azaltılması Odun toplamak için gereken zamandan tasarruf	• Kurulum ve işletme için işçi çalıştırılması • Sınırlı kullanım ömrü (birçok tesis için yaklaşık olarak 20 yıl) • Yatırım maliyetinin yüksek olması • Kurak yerlere daha az uygun olması • Mevcut tesislerin fonksiyonları açısından olumsuz bakış açısı • Güvenilir ve sürekli besleme atığı ihtiyacı olması • Arıtılan çamurun kullanımı için uygun ortam yaratılması • Mezofilik arıtma sonrası atıkların daha az hijyenik olması • Çoğu potansiyel kullanıcının gelirine göre yüksek maliyetli yatırım

2.8 Biyogaz Oluşumunu Etkileyen Faktörler

2.8.1 Sıcaklık

Anaerobik sindirimle; biyogaz üretiminde sakrofilik (0 °C–25 °C), mezofilik (25 °C–42 °C) ve termofilik (42 °C–75 °C) olmak üzere üç farklı sıcaklık aralığı temel alınmaktadır. Biyogaz üretiminde yüksek verim elde etmek için, yüksek sıcaklık ve nispeten daha kısa bir sindirim süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Anaerobik sindirimin hidrolitik ve asidojenik fazları, sıcaklık değişimlerine çok duyarlı değildir. Diğer taraftan, sıcaklığın asetojenik ve metanojenik mikroorganizmalar üzerinde etkisi önemlidir (Rajeshwari ve ark., 2000). Anaerobik kültürdeki mikroorganizmalar arasında; propiyonatı okside eden bakterilerin, sıcaklık değişimlerinden en çok etkilendiği belirlenmiştir (Leitao ve ark., 2005). Bu nedenle anaerobik sindirimde aşırı sıcaklık artışının, metan üretimini inhibe edebileceği bildirilmektedir (Rajeshwari ve ark., 2000).

Ayrıca sıcaklıkta şok değişiklikler, reaktörde; pH'ın düşmesine, metanojenezin inhibasyonuna ve fermentasyon ürünlerinin birikmesine yol açmaktadır (Leitao ve ark., 2005).

2.8.2 pH

Her enzimini, belli bir optimal pH aralığında aktivite göstermesi nedeniyle; mikroorganizmaların enzim aktiviteleri üzerine, pH düzeyinin önemli etkileri vardır (Lay ve ark., 1997). Hidroliz, asidojenez ve asetojenez; geniş bir pH aralığında meydana gelirken, metanojenez; daha çok nötral pH'da, meydana gelmektedir. Metan üretimi pH 6.5-7.5 aralığında daha hızlı iken, yüksek pH değerlerine ulaşıldığında yavaşlamaktadır (De Mes ve ark., 2003). pH'ın 6.8-7.2 aralığında korunması durumunda; üretilen biyogazdaki metan oranının, maksimum düzeyde gerçekleşeceği bildirilmektedir (Ghaly, 1996).

Biyogaz üretimi esnasında, asit üreten bakteriler; metan üreten bakterilerden daha hızlı çoğalabileceğinden, meydana gelebilecek asit üretimi nedeniyle, metan üreten bakterilerin baskılanması söz konusu olabilmektedir. Bu yüzden sistemin pH'sının sürekli kontrol altında tutulması yararlı olacaktır (Karena, 2004; Gülen ve Arslan, 2005).

2.8.3 C/N Oranı

Anaerobik sindirimde faaliyet gösteren mikroorganizmalar; çoğalmaları için, yeterli miktarda besine ihtiyaç duyarlar. Her mikroorganizma türü, karbon ve azot kaynağına ihtiyaç duyar. Organik materyallerde bulunan, karbon ve azot miktarı arasındaki ilişki; C/N oranı şeklinde simgelenir.

Organik materyaller; saman, çim gibi karbon yönünden ve idrar, insan ve tavuk atığı gibi azot yönünden olmak üzere iki şekilde zengin olabilmektedir. Organik madde içerisinde, karbonun en önemli kaynağı; karbonhidratlar, azot kaynağı ise; protein, nitrat ve amonyaktır (Eryaşar, 2007).

Karbon biyogaz oluşumu için gerekli olurken, azot anaerobik bakterilerin gelişimi ve yeniden üretilmesi için gereklidir. Mikroorganizmalar karbonu enerji kaynağı olarak kullanırlarken, azotu yeni hücrelerin oluşturulmasında, yapı malzemesi olarak kullanırlar.

Anaerobik reaktörlerde optimum C/N oranı, yaklaşık 20-30 arasında değişmektedir. Yüksek C/N oranı nitrojenin metanojenler tarafından hızlı bir şekilde tüketilmesi nedeniyle, genelde düşük gaz üretimi ile sonuçlanmaya neden olmaktadır. Diğer taraftan, daha düşük bir C/N oranı, amonyağın birikmesine ve pH değerinin 8.5'i aşmasına, metanojen bakteriler üzerinde toksik etkilere neden olmaktadır. Reaktördeki materyallerin optimum C/N oranlarını elde etmek için; organik katı atıklar hayvan gübresi gibi materyallerle karıştırılarak uygun hale getirilebilmektedir (Eryaşar, 2007; Öztürk, 2005; Verma, 2002).

2.8.4 Karıştırma

Karıştırma ile; meydana gelen gazın, reaktörden daha kolay toplanması, mikroorganizmaların sisteme yeni eklenen organik materyal ile daha kolay teması geçmesi, yüzey gerilimini ortadan kaldırarak meydana gelen biyogazın daha kolay tahliyesinin gerçekleşmesi ve çökelmenin önlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca karıştırma ile; ısının homojen dağılımı sağlanabilmekte ve bakteri dağılımı da aynı şekilde homojenize olmaktadır (Ekinci, 2007).

Aşırı karıştırma ise; değişik bakterilerin kendi aralarında oluşturduğu dengeyi bozarak, sistemi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu yüzden karıştırma işleminde; aşırılığa kaçmamanın ve karıştırma işlemini, belli zaman aralıklarında uygulamanın gerekli olduğu bildirilmektedir. pH değerini azaltarak kararsızlığa neden olacağı ve

başlangıç zamanını uzatacağından, karıştırma işleminin; fermentasyonun başlangıç aşamasında yapılmasının yararlı olmayacağı görüşü yaygındır (Koby, 1992; Ekinci, 2007).

2.8.5 Atık Yükleme Hızı

Organik atık yükleme hızı; birim hacimde (m^3) biyogaz reaktörlerine, günlük olarak eklenen, organik madde miktarı olarak tarif edilir. Atık yükleme hızı; anaerobik parçalanmada, diğer kontrol parametreleri gibi önemli bir parametredir (Zaher ve ark., 2007).

Anaerobik fermentasyonda; bakteriler organik atık yükleme hızına karşı, oldukça hassastırlar. Anaerobik arıtma esnasında; mümkünse optimum organik atık yükleme hızı korunmalıdır. Organik atık yükleme hızı yüksek olduğunda; biyogaz reaktörü içinde, asit birikmesi olur ve pH düşer. pH'ın düşmesi, metanojenik bakterilerin faaliyetlerini olumsuz yönde etkiler. Bu da biyogaz üretim hızını düşürür ve hatta durdurur. Yüksek organik yükleme hızında, daha fazla bakteriye ihtiyaç duyulmaktadır (Speece, 1996). Benzer şekilde organik besleme hızı düştüğü zaman, gaz üretim hızı yine düşmektedir. Reaksiyon hızını etkileyen en önemli faktörler; pH, sıcaklık ve çamur yaşıdır (mikroorganizma bekleme süresi) (Öztürk, 1999). Genellikle biyoreaktörde oluşan hatalar, yüksek atık yükleme hızlarında meydana gelmektedir (Vavilin ve ark., 2007).

2.8.6 Toksik İçeriklerin Etkisi

Anaerobik parçalanmada; her madde, çeşitli konsantrasyonlarda, mikroorganizmaların çoğalmalarını engelleyerek, toksik etki gösterebilmektedir. Anaerobik proseste, ağır metaller, oksijen, sülfid, organik asitler; mikroorganizmaların çoğalmalarını, inhibe eder (Hwu ve Lettinga, 1997; Björnsson, 2000).

Anaerobik parçalanmada; sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum ve kükürt gibi minerallerin az miktarda bulunması; bakterilerin çoğalmalarını olumlu yönde etkilerken, fazla miktarda bulunduklarında, toksik etki yaparlar. Ağır metal zehirlenmesi birçok anaerobik proseste problemdir. Çinko, bakır, nikel, krom, kurşun gibi ağır metallerin, çok az miktarlarda bulunması; mikrobiyal aktiviteyi artırırken, yüksek miktarlarda ise toksiktirler (Karim ve ark., 2005; Zaher ve ark., 2007; Elango ve ark., 2007).

Uzun zincirli yağ asitleri, 2.000 mg/L'yi aşması durumunda; mezofilik ve termofilik anaerobik parçalanmada, toksik etki gösterirler (Hwu ve Lettinga, 1997). Anaerobik parçalanmada, metanojenler; NH_3 ve H_2S 'ye duyarlı organizmalardır. Uçucu yağ asitleri ve H_2S ; pH 7'nin altında zehirliyken, amonyak ise; pH 7'den yüksek olduğu zaman zehirlidir. Serbest amonyak seviyesi 150 mg/L'de, zehirli olabilir (Björnsson, 2000).

2.8.7 Alıkonma Süresi

Alıkonma süresi; uçucu organik maddenin, anaerobik fermantasyon sürecinde, tümüyle bozunmasının gerçekleşmesi için gereken süredir. Alıkonma süresi; sıcaklık ve organik atık kompozisyonu gibi parametrelere göre değişmektedir.

Alıkonma süresi mezofilik biyogaz reaktörlerinde işlenmiş atıklar için; 15 ile 25 gün ve termofilik reaktör için 12 ile 14 gün kadardır (Monnet, 2003).

2.9 Hammadde Beslemesine Göre Biyogaz Tesisleri

Biyogaz üretiminde kullanılan sistemler hammadde besleme şekillerine göre genel olarak üç ayrı grupta toplanmaktadır (Url-2).

2.9.1 Kesikli (Batch) Fermantasyon

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

2.9.2 Beslemeli-Kesikli Fermantasyon

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

2.9.3 Sürekli Fermantasyon

Bu fermantasyon biçiminde fermantörden gaz çıkışı başladığında günlük olarak besleme yapılır. Sisteme aktarılan karışım kadar, gazı alınmış çökelti sistemden dışarıya alınır. Organik madde fermantöre her gün belirli miktarlarda verilmekte, alıkoyma süresi kadar

bekletilmekte ve aynı oranlarda fermante olmuş materyal günlük olarak fermentörden alınmaktadır. Böylece günlük beslemelerle sürekli biyogaz üretimi sağlanmaktadır.

2.10 Ülkemizde Sanayi Ölçekli Biyogaz Çalışmaları

Son zamanlarda, AAT'den çıkan arıtma çamurlarının değerlendirilmesi amacıyla; biyogaz tesislerinin kurulması için yapılan çalışmalar, giderek artmaktadır. Ülkemizde toplam 460 adet AAT bulunmaktadır (Url-3). Bunların yaklaşık olarak 15 tanesinde, kojenerasyon santrali mevcuttur. Aynı zamanda ülkemizde; çöp deponi alanlarından çıkan metan gazından enerji üretimi de, son zamanlarda çok popüler bir konu olmaya başlamıştır. Böylece, çevre kirliliği oluşturarak küresel ısınmaya sebebiyet veren çöp gazı ve bunların oluşturduğu kötü kokular bertaraf edilmekte olup; hem çevre kirliliği önlenmekte, hem de söz konusu gazlar ekonomiye kazandırılmaktadır. Atıksu arıtma çamurlarından ve çöp deponi alanlarından biyogaz üretimi yapılan bazı arıtma tesisleri aşağıda verilmiştir.

2.10.1 Tokat AAT Kojenerasyon Santrali

Tamamen fiziksel ve biyolojik arıtma ünitelerinden oluşan tesiste; anaerobik (oksijensiz) çürütücülerde üretilecek biyogazdan elde edilecek elektrik enerjisi ile, işletme maliyetlerinde önemli bir tasarruf elde edilmektedir. Tokat AAT yetkililerinden alınan bilgilere göre; tesiste üretilen ortalama elektrik miktarı 2993 kW/gün ve tüketilen ortalama elektrik miktarı ise 8229 kW/gün'dür. Tesisin elektrik ihtiyacının % 36'sı buradan karşılanmaktadır. Tokat AAT'ne ait çamur homojenizasyon tankı ve biyogaz depolama tankı Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1 Tokat AAT'ne ait çamur homojenizasyon tankı ve biyogaz depolama tankından bir görünüş

2.10.2 Kayseri AAT Kojenerasyon Santrali

Atıksuların işlendiği bu arıtma tesisinde; ham çamur stabilize edilerek, ekolojik yönden kullanıma uygun hale getirilirken, biyogaz elde edilmektedir. Üretilen gaz (biyogaz) ile elektrik üretilmekte ve tesisin elektrik ihtiyacının bir kısmı buradan karşılanmaktadır. 2010 yılı içerisinde tesiste kullanılan elektriğin % 23'ü biyogaz ile üretilmiştir. Tesiste yaklaşık olarak 7.000 m³/gün gazdan, yaklaşık 10.000 kWh/gün mertebesinde elektrik üretilmektedir. Tesiste, elektrik üretilirken, elde edilen ısı; kış aylarında tesisteki binaların ısıtılmasında ve sıcak su eldesinde kullanılmaktadır (Url-4). Şekil 2.2'de Kayseri AAT görülmektedir.



Şekil 2.2 Kayseri AAT'den genel görünüş

2.10.3 Muğla AAT Kojenerasyon Santrali

Muğla AAT evsel nitelikli atıksuları iyileştirmek için kurulmuş olup, 2020 (1.aşama) ve 2040 (2.aşama) yılları için 2 aşamalı olarak tasarlanmıştır. Birinci aşama 2020 yılı, 100.000 eşdeğer nüfusa hizmet eden ve tasarım debisi 17.111 m³/gün, ikinci aşama 2040 yılı ise 128.000 eşdeğer nüfusa hizmet eden ve tasarım debisi 23.252 m³/gün olarak dizayn edilmiştir (Url-5).

Muğla AAT personelinden alınan bilgilere göre; tesis kendi ihtiyacı olan enerjinin % 40'ını geri kazanım yoluyla elde ederek kullanmaktadır. Çamur çürütme tankı, sürekli beslemelidir ve günlük çamur giriş miktarı 96 m³/gün'dür. Günlük üretilen biyogaz ortalaması 700 m³/gün ve günlük elektrik üretimi 1250 kW/gün'dür. Muğla AAT kojenerasyon santrali Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.3 Muğla AAT kojenerasyon santralinden bir görünüş

2.10.4 Mamak Çöp Gazı Santrali

“Ankara Katı Atık Projesi” kapsamında; Mamak Çöplüğü’nde biriken metan gazının bertarafı için kurulan santral (Şekil 2.4); 16 jeneratörün ürettiği 24,5 MW/saat elektrik enerjisi ve 10 yıllık rezerv kapasitesiyle eşdeğerlerine göre, Dünya’nın en büyükleri arasında yer almaktadır. Proje kapsamında; Sincan Çadırtepe Katı Atık Depolama Alanı’na taşınan günlük ortalama 1000 ton’un üzerindeki çöpten de, sahada kurulan 4 jeneratör ile 14,1 MW/saat elektrik enerjisi üretilmektedir. Çadırtepe’de üretilen 14,1 MW/saat elektrik enerjisi ile; Mamak Çöplüğü’nde üretilen 24,5 MW/saat elektrik enerjisi (toplam 38,6 MW/saat elektrik enerjisi), ulusal elektrik şebekesine satılmaktadır (Url-6).



Şekil 2.4 Mamak çöp gazı santralinden genel görünüş

2.10.5 İstanbul Çöp Gazı Santrali

İstanbul'da düzenli çöp depolama sahalarında toplanan evsel atıklardan, elektriğin üretildiği iki adet santral bulunmaktadır. 2009 yılında İstanbul Avrupa Yakası Kemberburgaz-Odayeri'ndeki santral kurulmuştur. 2010 yılında ise Anadolu yakası Şile-Kömürcüoda'daki santral kurulmuştur. Her iki saha için toplam güç kapasitesi, yaklaşık 30 MW mertebesindedir. Toplam gücün üçte ikisi, Odayeri, üçte biri de Kömürcüoda sahasına aittir. Şekil 2.5'de İstanbul çöp gazı santrali görülmektedir (Url-7).



Şekil 2.5 İstanbul çöp gazı santralinden genel görünüş

2.10.6 Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Bulunan Katı Atıklardan Çıkan Metan Gazından Enerji Üretimi

Proje kapsamında gazların toplanması amacıyla; 8 m ile 41 m arasında değişen derinliklerde, 800 mm çapında, 38 adet sondaj kuyusu açılarak içerisine delikli 200-250 mm'lik HDPE borular yerleştirilmiş ve gaz toplama bacaları oluşturulmuştur. Açılan bu 38 adet dikey gaz toplama bacasından çıkan gazların,ü merkez noktalara taşınması için; toplam 7643 m boyunda ve 110 mm çapında HDPE borularla yatay borulama yapılmış ve üzerleri sızdırmaz toprak tabakası ile kapatılmıştır. Projeye yaklaşık olarak yıllık 130.000 ton karbon emisyonu azaltılmış olacaktır. Tesisin (Şekil 2.6) kurulu güç kapasitesi 3.3 MW olup EPDK'dan "Üretim Lisansı" alınmıştır. (Url-8).



Şekil 2.6 Gaziantep Belediyesi'ne ait çöp gazı santralinden bir görünüş

2.10.7 Bolu Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Alanında Bulunan Katı Atıklardan Çıkan Metan Gazından Enerji Üretimi

Bolu katı atık depolama alanı 250 dönüm olup 1994 yılından itibaren faaliyettedir. Sahaya 200 ton/gün civarında katı atık gelmektedir. Mevcut alanda şu ana kadar 2 milyon ton civarında atık depolanmıştır. Her bir depolama hücresinin ortalama yüksekliği 20-40 m arasında değişmektedir. Şekil 2.7'de Bolu Belediyesi'ne ait çöp deponi alanı görülmektedir.



Şekil 2.7 Bolu Belediyesi'ne ait çöp deponi alanından bir görünüş

Yapılan analizlerde Bolu katı atık alanından çıkan çöp gazının yaklaşık % 55'nin saf metan olduğu tespit edilmiş ve sahada açılmakta olan gaz toplama bacalarından maksimum seviyede 750-1000 m³/saat ve dolayısıyla 22.000 m³/gün saf metan gazı elde

edilmesi hedeflenmektedir. Başlangıç olarak 1,1 MW lisans başvurusunda bulunulmuştur. Zamanla bu kapasite arttırılabilecektir (Url-9).

2.11 Biyogaz ile İlgili Yapılan Çalışmalar

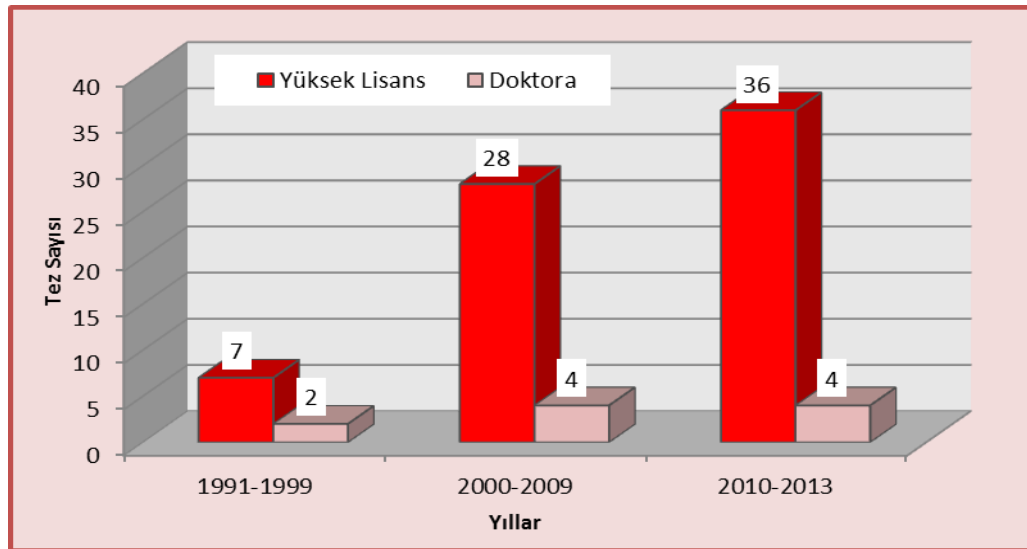
2.11.1 Ülkemizde Yapılan Lisansüstü Tezler

Ülkemizde biyogazla ilgili olarak birçok üniversitemizde lisansüstü düzeyde tez çalışmaları yapılmıştır ve yapılmaya devam etmektedir.

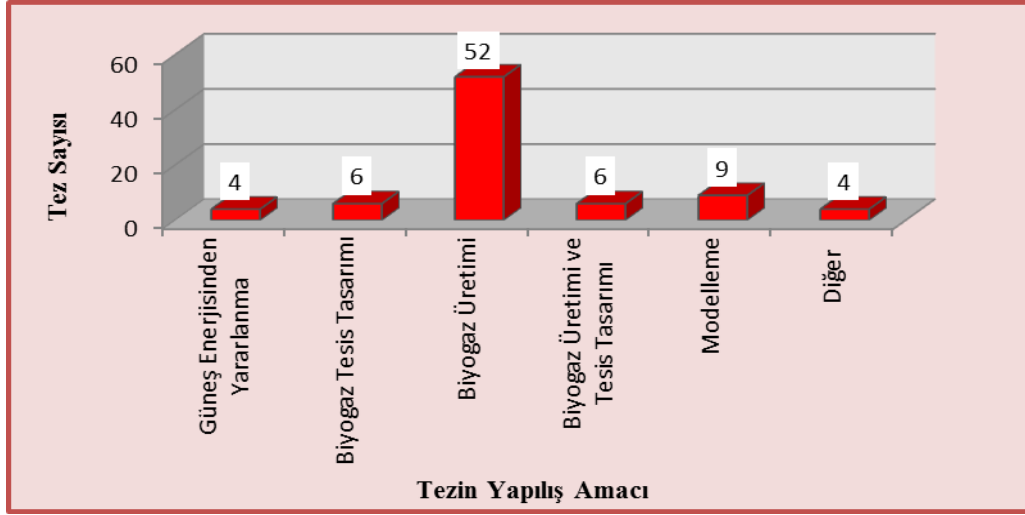
Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nin (<http://tez2.yok.gov.tr/>) internet adresinden dizin adı kısmına biyogaz yazılarak taranan tezlerle ilgili ayrıntılı özet bilgiler ve değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur. Ancak; biyogazla ilgili olup burada yer almayan lisansüstü tezler de bulunabilmektedir. Bu çalışmalara burada yer verilmeyişinin sebebi; tezler YÖK'e gönderilirken, anahtar kelime olarak "biyogaz" ifadesinin yazılmayışındandır. Örneğin, "biyogaz" yerine "anaerobik arıtım" yazılacak olursa burada yer almayan biyogazla ilgili birkaç lisansüstü teze daha ulaşılabilir.

Burada "biyogaz" dizin terimi yazılarak ulaşılan yüksek lisans tez sayısı 71'dir. Bunların 47 tanesinin tam metinlerine, 24 tanesinin ise sadece özetine ulaşılabilir. Doktora çalışmaları ise toplam 10 adettir. Bunlarında 8 tanesinin tam metinlerine, 2 tanesinin ise sadece özetine ulaşmak mümkündür.

"Biyogaz" ile ilgili olarak yapılan, yüksek lisans ve doktora tez sayılarının yıllara (1991-2013) göre dağılımı Şekil 2.8'de, tezlerin yapılış amaçlarına göre dağılımı da Şekil 2.9'da verilmiştir.



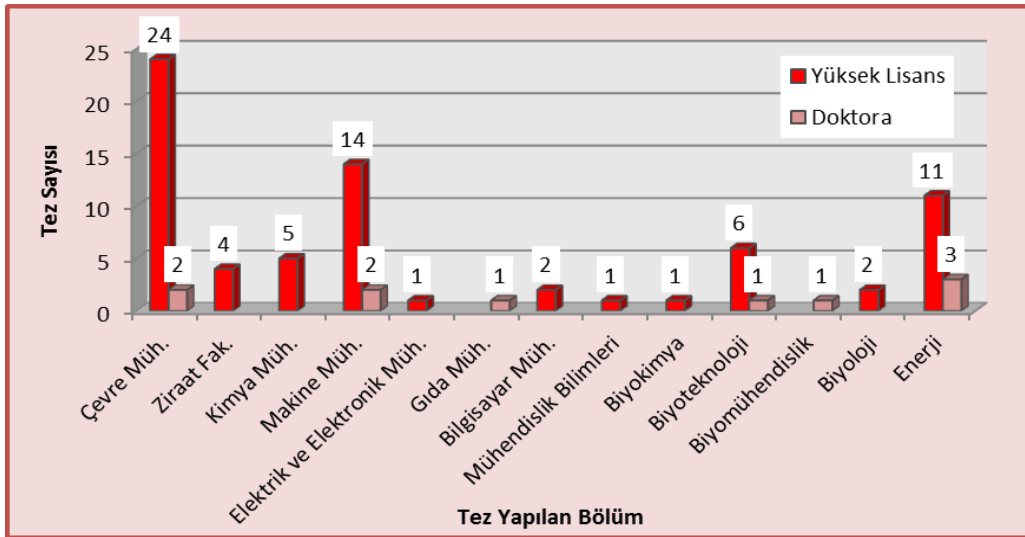
Şekil 2.8 Yıllara göre biyogaz ile ilgili yapılan lisansüstü tez sayıları



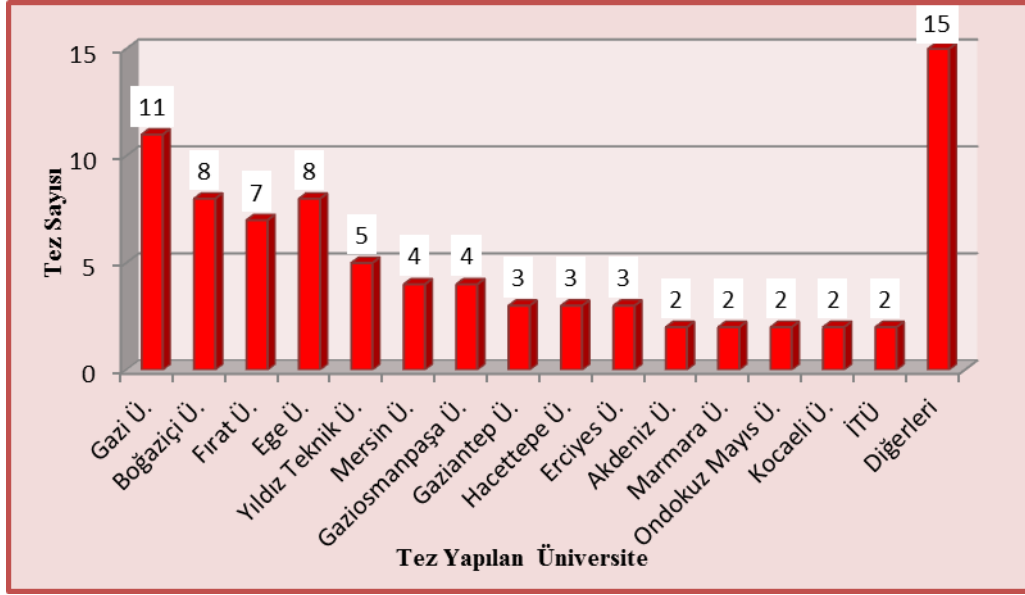
Şekil 2.9 Biyogaz ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin yapılış amaçlarına göre dağılımı

Türkiye’de yapılmış 81 adet lisansüstü tezde, Şekil.2.9’da verilen yapılış amaçlarından diğer başlığı altında verilen 4 adet tez konusu sırayla; Türkiye’de biyogaz enerjisinin kullanılabilirliği ve ekonomikliği, biyogaz üretiminin teknik, ekonomik ve çevresel analizi, hayvansal kompost ve biyogaz atıklarının toprakların bazı fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine etkisi ve hayvansal kompost ve biyogaz atıklarının toprak enzim aktiviteleri üzerinedir.

Biyogaz ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin yapıldığı bölümlere göre dağılımı Şekil 2.10’da, yapılan lisansüstü tezlerin üniversitelere göre dağılımları da Şekil 2.11’de verilmiştir.

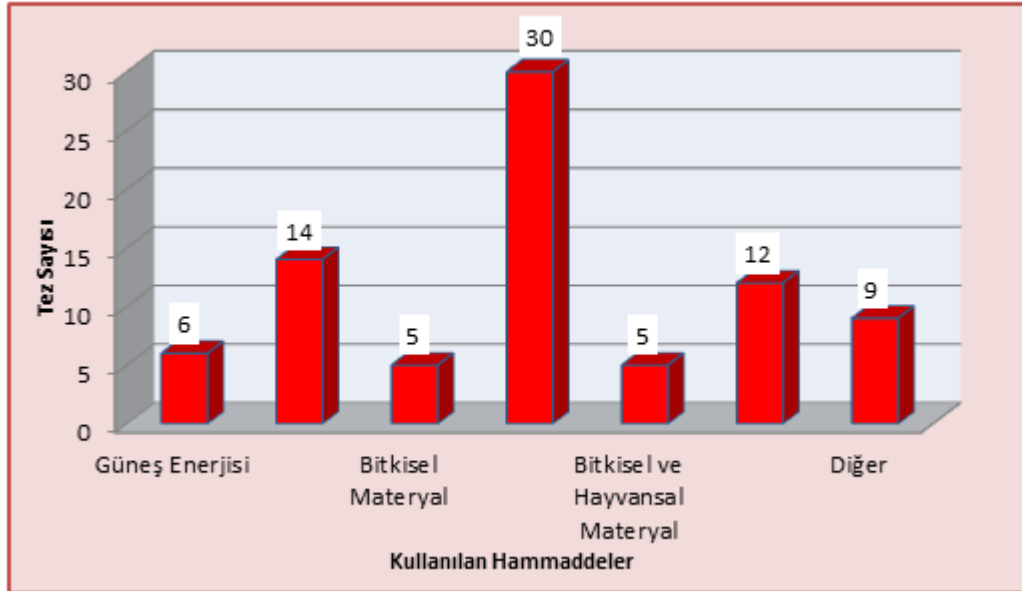


Şekil 2.10 Biyogaz ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin yapıldığı bölümlere göre dağılımı



Şekil 2.11 Biyogaz ile ilgili yapılan lisansüstü tezlerin üniversitelere göre dağılımı

Biyogaz ile ilgili olarak yapılan tezlerde; kullanılan hammaddelere göre, tezlerin dağılımları Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12 Tez çalışmalarında kullanılan hammaddelere göre lisansüstü tezlerin dağılımı

Şekil 2.12’de görüldüğü üzere biyogaz üretiminde kullanılan hammaddeler gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmanın dışında kalan tezlerde; biyogaz tasarımı, modelleme ve biyogazın matematiksel ifadesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Aşağıda Yükseköğretim Kurulu'nun Ulusal Tez Merkezi'nden alınan ve yukarıda sayısal olarak değerlendirmesi yapılan lisansüstü tezlerin içerikleri ve özet bigiler aşağıda verilmiştir.

Dalgıç (1998), Gaziantep Üniversitesi'nde yapmış olduğu doktora çalışmasında; yağı alınan zeytin atıklarını, biyogaz üretimi için anaerobik bozunma işlemine tabi tutmuştur. Deneyler; 37 °C sıcaklıkta, sıvı hacmi 1,5 L olan fermentör ile, sıvı hacmi 1 L olan inkübatör içerisindeki balonlarda gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar kesikli ve yarı-kesikli olarak sürdürülmüş, katı madde miktarı ile alıkonma süreleri değiştirilerek, biyogaz oluşum hızı belirlenmiştir. Kesikli sistemde en yüksek biyogaz üretimi 0,47 L (NŞA)/L reaktör.gün ve metan içeriği % 80 olarak bulunmuştur. Yarı kesikli sistemde ise; en yüksek günlük biyogaz üretimi ve verimliliği, alıkonma süresi 20 gün ve katı madde miktarı % 10 olan deney şartlarında, 0,69 L biyogaz/L reaktör.gün ve 0,076 L biyogaz/L reaktör.eklenen g KOİ olarak bulunmuştur. Bu durumda biyogaz hacimsel olarak % 81 metan içermekte olup, en yüksek günlük metan üretim hızı ve verimliliği 0,550 L metan /gün ve 0,06 L metan /eklenen g KOİ olduğu hesaplanmıştır. Yarı kesikli sistemde elde edilen kinetik veriler; Monod ve Contois eşitliklerinin bir birleşimi olan, amprik denkleme uyarlanmıştır. Bu uyarlamada; zeytin küspesindeki biyolojik olarak tüketilemeyen madde miktarı ve en uygun alıkonma süresi sırası ile, toplam KOİ'nin % 37'si ve 15 gün olarak bulunmuştur.

Güngör (2002), Ortadoğu Teknik Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; et tavuğu ve büyükbaş hayvan gübresinin, anaerobik olarak arıtılabilirliğini ve biyogaz üretim potansiyelini araştırmıştır. Bu amaçla; tavuk ve büyükbaş hayvan gübresi ile bunların değişik orandaki karışımları (% 100 tavuk; % 75 tavuk, % 25 büyükbaş hayvan; % 50 tavuk, % 50 büyükbaş hayvan; % 25 tavuk, % 75 büyükbaş hayvan ve % 100 büyükbaş hayvan gübreleri) kullanılarak, kesikli anaerobik reaktörde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu karışımlar üç farklı başlangıç KOİ (12.000 mg/L, 53.500 mg/L ve 148.900 mg/L) ve toplam katı madde (TKM) (% 1,6, % 7,1 ve % 20) konsantrasyonuna sahip olarak hazırlanmıştır. Besin takviyesinin etkisini belirlemek üzere, bu deneyler hem Basal Ortam (BO) içeren hem de içermeyen reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda; toplam KOİ giderim veriminin en düşük başlangıç KOİ'sine sahip reaktör setinde, ortalama % 40 civarında olduğu ve verimin tavuk gübresi için organik konsantrasyonu arttıkça düştüğü görülmüştür.

Tüzüm (2003), Gazi Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; kesikli sistemde yemek atıklarının anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimini incelemiştir.

Deneysel çalışmalarda; her biri 250 mL hacimli 20 adet cam reaktör kullanılmış ve atıkların anaerobik arıtımı süresince oluşan gazın toplanması için, dereceli büretler kullanılmıştır. Bu çalışmada; maksimum anaerobik arıtım ve biyogaz üretim hızına ulaşmak için, sıcaklık, pH ve katı madde oranının etkisi incelenmiştir. Çalışmada çeşitli modeller kullanılarak maksimum biyogaz üretim hızı 1,21 mL/g katı.saat, maksimum KOİ'deki azalma % 40,26 ve maksimum asetik asit üretim hızı 5,24 mg/g katı.saat olarak bulunmuştur.

Cıngır (2004), Boğaziçi Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; İZAYDAŞ düzenli katı atık depolama sahasındaki, Lot 7'de çöp gazı oluşumu ve toplanmasının potansiyelini değerlendirmiştir. İZAYDAŞ düzenli depolama sahasındaki işletimi bitip kapanmış olan, Lot 7 için aktif gaz toplama sistemi performansının değerlendirilmesi ve işletilmesine yardımcı olmak amacıyla, çok basamaklı bir model geliştirilmiştir. Model, Lot 7 için mevcut düzenli depolama sahası tasarımı ve Lot 7 de depolanan gerçek katı atık miktarlarını baz alarak hazırlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları; gaz toplama sisteminin verimini etkileyen ana faktörler: katı atık organik bölümünün bozunma hızı, aktif gaz toplama sisteminin işletilme biçimi ve yüzey toprak örtüsünün geçirimsizliği olarak bulunmuştur.

Kavacık (2007), Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; peynir altı suyu ve sığır gübresi karışımının 26 L'lik bir anaerobik reaktörde, farklı hidrolik alıkonma sürelerinde (HRT) (5, 10 ve 20 gün) ve değişik katı madde oranlarında, anaerobik kofermantasyonunu araştırmıştır. Deneysel çalışmalarda; iki farklı katı madde oranı (% 8 ve % 10) ve iki farklı sıcaklık (25 °C ve 34 °C) kullanılmıştır. Deney sonuçları; tüm deneylerde HRT'nin artışıyla, günlük biyogaz üretiminin azaldığını göstermiştir. Ancak metan üretim oranı HRT ile kayda değer bir değişiklik göstermemiştir. Tüm sürekli deneylerde biyogaz içindeki metan yüzdesi % 60 ± 1 olarak bulunmuştur.

Yiğit (2007), Gazi Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; Atatürk Orman Çiftliği Peynir Üretim Tesisleri'nden alınan ve başlangıçta 70.000 mg KOİ/L değerinde organik yüke sahip olan peyniraltı suyunun yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik (YAÇYA) reaktörlerde, arıtılabilirliğini ve biyogaz üretimi için uygun koşulları araştırmıştır. Peyniraltı sularında 1/20, 1/10, 1/5, 1/4, 1/3 ve 1/2 oranlarında seyreltmeler yaparak, bu parametrelerin biyogaz üretimi üzerine olan etkileri incelenmiştir. Deneylerde; 3,4 L hacminde paralel bağlı iki YAÇYA reaktör (R1 ve R2) kullanılmış ve başlangıçtaki aşılama işleminde, Ankara Merkezi AAT anaerobik

aktif çamur arıtma reaktörlerinden sağlanan özümleyiciler kullanılmıştır. Sonuçta R1 reaktöründe gaz üretim hızı 0,68 cm³/min, metan yüzdesi % 49,79 ve yatak yüksekliği 20,50 cm, R2 reaktöründe gaz üretim hızı 0,29 cm³/min, metan yüzdesi % 27,93 ve yatak yüksekliği 18,00 cm olarak bulunmuştur.

Eryaşar (2007), Ege Üniversitesi'nde yapmış olduğu doktora çalışmasında; kırsal kesime yönelik, yüksek verimli, yatırım, işletim ve bakım maliyetleri düşük, kolay kurulum ve kullanım özelliklerine sahip, orta teknoloji biyogaz sistemlerinin oluşturulmasını amaçlamıştır. Çalışmalarda, ülkemiz genelinde büyük bir potansiyele sahip sığır atığı kullanılmıştır. Oluşturulan pilot ölçekli sistemlerde, gerçekleştirilen denemeler sonucunda; mezofilik bölgede 1,2 m³ biyogaz/m³reaktör.gün, termofilik bölgede 2 m³ biyogaz/m³reaktör.gün olmak üzere, yüksek biyogaz üretim verimi değerlerine ulaşılmıştır.

Ekinci (2007), Gazi Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; tavuk dışkılarının kesikli sistemde, anaerobik özümleyiciden alınan aşırı kullanarak anaerobik arıtımı ve biyogaz üretim verimliliğini incelemiştir. Bu amaçla; 250 mL hacimli, 20 adet cam reaktör kullanılmıştır. Reaktör sıcaklığı ve pH'ı denetlenmiş ve değişik tasarım koşulları ardışık olarak sağlanmıştır. En yüksek gaz oluşum hızı; 10,17 mL/g katı atık.gün, 37 °C sıcaklıkta, 6,5 pH değerinde, 7,54 katı yüzdesinde; en yüksek KOİ giderim hızı 368,17 mg KOİ/L.g katı atık.gün, 35 °C sıcaklıkta, 6,9 pH değerinde, 7,01 katı yüzdesinde; en yüksek asetik asit oluşum hızı 34,75 mg/L.g katı atık.saat, 37 °C sıcaklıkta, 7,5 pH değerinde, 9,73 katı yüzdesinde bulunmuştur.

Arıkan (2008), Çukurova Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; çürütülmüş organik katı atık çamurunu, çamur içerisinde kalan organik maddeden daha fazla faydalanmak amacıyla tekrar çürütmüştür. Çürütülmüş çamura, hidroliz aşamasında parçalanması zor olan lignoselülozik maddeleri parçalamak amacıyla asit (sülfürik asit) ve enzim (selüloz enzimi) ile ön işlem uygulanmıştır. Enzimatik ve asidik ön işlem uygulanan çürütülmüş çamur, termofilik şartlarda (55 °C) tekrar çürütülmüştür. Çürütülmüş çamurun özelliklerini belirlemek için; karbonhidrat, protein, TKM ve uçucu katı madde ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda; metan gazı hacmi 5. ve 29. günde; ön işlem uygulanmamış çamurda sırasıyla 27 mL, 212,5 mL; % 1 oranında asidik ön işlem uygulanmış çamurda sırasıyla 96 mL, 118,5 mL; sadece ısı ile işlem uygulanmış çamurda ise sırasıyla 216 mL, 318 mL elde

edilmiştir. Deneylerin sonucunda; çürütülmüş çamura ısı ön işlem uygulanmasının, hidroliz aşamasını hızlandırdığı ve metan gazı hacmini artırdığı gözlemlenmiştir.

Ardıç (2009), Mersin Üniversitesi'nde yapmış olduğu doktora çalışmasında; inek gübresinden biyogaz üretim veriminin artırılması amacıyla, inek gübresinin küttele % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin küttele % 5, % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 , H_3PO_4 , HNO_3 , NaOH ve KOH ayrı ayrı ekleyerek, oda sıcaklığı ile suyun normal kaynama sıcaklığında 1, 2 ve 3 saatlik sürelerde termal ve termokimyasal ön işlemler uygulamıştır. Çalışma sonunda; inek gübresindeki katı maddenin maksimum suda çözünürlüğü % 29,7 ve maksimum metan üretim verimi 352,37 mL CH_4 /g KM olarak bulunmuştur. NaOH kullanılarak yapılan üç saatlik termokimyasal ön işlemde elde edilen numunenin, katı maddenin suda çözünürlüğünü ve inek gübresinden biyogaz ve metan üretim verimini artırdığı sonucuna varılmıştır.

Halisdemir (2009), Mersin Üniversitesi'nde yapmış olduğu doktora çalışmasında; evsel atıksuların arıtılmasıyla üretilen biyolojik arıtma çamuru (aktif çamur) ve meyve suyu üretim işletmelerinden çıkan portakal posasını hammadde olarak kullanmıştır. Çalışmada hammaddelere, biyogaz üretim verimlerinin artırılması amacıyla bazı ön işlemler uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, aktif çamur ve portakal posasının biyogaz üretiminde kullanılabileceğini ve ön işlemlerle katının suda çözünen madde miktarını artırdığını, dolayısıyla biyogaz üretim verimini de artırdığını göstermiştir.

Pola (2011), Boğaziçi Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; altlık olarak kullanılan kavuzun farklı oranlarının, tavuk gübresinin anaerobik parçalanmasından oluşan biyogaz oranına etkisini araştırmıştır. Bu amaçla; tavuk gübresi ve farklı oranlardaki kavuz, mezofilik anaerobik şartlar altında karıştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda; kümülatif biyogaz oluşumunun, artan kavuz oranı ile azaldığı, diğer taraftan, metan konsantrasyonunun artan kavuz oranı ile arttığı gözlemlenmiştir.

Yakut (2012), Kocaeli Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; karıştırıcı hızının biyogaz üretimi üzerine etkisini incelemiştir. Deneylerde; üç adet 12 L kapasiteli, laboratuvar ölçekli biyogaz reaktörü kullanılmıştır. Deneyler için, % 12,5 kuru maddelik büyük baş hayvan atığı, aşı ve su karışımı hazırlanmıştır. HRT 57 gün olarak belirlenmiştir. Reaktörler için sıcaklık; kontrollü olarak, 37 ± 1 °C'de tutulmuştur. Karıştırıcı hızları; R1, R2 ve R3 için sırasıyla 14,9 devir/min, 47,5 devir/min ve 95,1 devir/min olarak ayarlanmıştır. Deneyler

sonucunda R1, R2 ve R3 için toplam biyogaz üretimleri sırasıyla 355,25 L, 332,1 L ve 312,1 L olarak ölçülmüştür. Reaktörlerdeki biyogaz dönüşüm verimlilikleri sırasıyla % 41,2, % 38,4 ve % 36,1 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlara göre karıştırıcı hızının biyogaz üretimine etki ettiği görülmüştür.

Bayraklı (2013), Gazi Üniversitesi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında; yumurta tavuğu dışkısının karakteristik özelliklerini tespit etmiştir. Daha sonra bu dışkı üzerinde yapılan asidik ve bazik ön işlemlili ve ön işlemsiz uygulamaların biyogaz üretim miktarları üzerinde oluşturacağı etkileri ve biyogaz içerisindeki metan oranlarını incelemiştir. Bu inceleme sonucunda, anaerobik ortamda çürütölmek üzere fermantöre beslenecek olan % 22,66 katı madde ve % 74,92 uçucu katı madde içeren yumurta tavuğu dışkısının; ön işlemsiz olması ve % 7,42 TKM oranına seyreltilmesi gerekliliği ortaya konmuştur.

Ayhan (2013), Uludağ Üniversitesi'nde yapmış olduğu doktora çalışmasında; mezofilik şartlarda, süt sığırı gübresi ve mısır silajını farklı karışım oranlarında kullanarak elde edilecek biyogaz miktarlarını belirlemiştir. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon deneme süresi 120 gündür. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon denemelerinde, 3 farklı kuru madde oranı, 3 farklı gübre:silaj oranı ve 2 farklı aşılama oranı kullanılmıştır. Laboratuvar ölçekli anaerobik fermantasyon deneme sonuçları göstermiştir ki, süt sığırı gübresi ve mısır silajının birlikte fermantasyonu biyogaz üretimi ve metan içeriğine pozitif etki etmektedir. En yüksek günlük biyogaz üretimi 1742,36 L/kgKM olarak ölçülmüştür. Denemeler sonunda üretilen toplam biyogaz miktarı 13.008 L ve en yüksek metan oranı % 66,6 olarak bulunmuştur.

2.11.2 Uluslararası Bilimsel Çalışmalar

Pound ve ark. (1981), anaerobik şartlarda, büyükbaş hayvan gübresi ile üreli ve üresiz sıkıştırılmış şeker kamışı karışımlarından üretilen biyogaz miktarlarını karşılaştırmak için, bir çalışma yapmışlardır. Karışımdaki sıkıştırılmış şeker kamışının yüzdelik oranını arttırdıkları zaman, sırasıyla fermantasyondaki bulamacın pH'ının düştüğü daha sonra biyogaz üretiminin yavaşladığı tespit edilmiştir. Reaksiyondaki sıkıştırılmış şeker kamışının miktarı % 80 olduğu zaman, biyogaz üretimi tamamen durmuştur. Sonuç olarak biyogaz üretiminin, bulamaçların pH'ının miktarları ile doğru orantılı olduğu saptanmıştır.

Kearney ve ark. (1994), laboratuvar da anaerobik ortamda büyükbaş hayvan gübresinin içindeki bazı bakterilerin (*Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes* ve *Campylobacter jejuni*) 35 °C sıcaklıkta, bekleme süresi 25 gün ve pH 7,6 şartları altında metabolik aktiviteleri neticesinde günlük üretilen biyogaz miktarını 510–620 mL/gün, üretilen biyogazın metan oranını % 42–50 olarak bulmuşlardır.

Goel ve ark. (2001), hazır çay üretim fabrikalarındaki kullanılmış çay yapraklarının, iki aşamalı oksijensiz sindirimle, gübre ve biyogaz üretimi için bir çalışma yapmışlardır. Yapılan testler sonucunda, reaktörde ortalama olarak % 93 oranında kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) azaltılarak, 0,48 m³/kg biyogaz üretildiği görülmüştür. Üretilen biyogazın metan içeriği % 73 olarak ölçülmüştür.

Kim ve ark. (2003), aktif çamurun çürütülmesinden (37 °C) önce; ısı, kimyasal, ultrasonik ve termokimyasal ön işlemlerini uygulayarak metan gazı üretimini sırasıyla 3390 mL/L, 2827 mL/L, 3007 mL/L, 3367 mL/L bulmuşlardır. Ön işlem uygulanmayan da ise 2507 mL/L bulmuşlardır. Isıl ön işlemde, atık aktif çamuru otoklavda 121 °C’de 30 min bekletmişlerdir. Kimyasal ön işlemde ise NaOH, KOH, Mg(OH)₂ ve Ca(OH)₂ alkalileri eklenmiştir. Isıl-kimyasal ön işlemde ise 7 g/L NaOH eklenerek 121 °C’de 30 min otoklavda bekletmişlerdir.

Park ve ark. (2005), atıksu arıtma çamurunun anaerobik ortamda parçalanmasında, biyolojik ve termokimyasal ön işlemin etkisini araştırmışlardır. Termokimyasal ön işlemde; NaOH (7 gram/L) ilave ederek, 121 °C’de 30 min uygulamışlardır. Biyolojik ön işlemde; aerobik ve anaerobik bakterilerle (1. aşama: *Cellulomonas* ve *C. Biazotea*, 2. aşama; *Clastridium butyricum*) hidrolize etmişlerdir. Termokimyasal ön işlem uyguladıkları prosesteki metan gazı verimi 520 m³/ton UK, biyolojik ön işlem uygulanan prosesteki metan gazı verimi 430 m³/ ton UK’dır. Ön işlem uygulanmayan prosesteki metan gazı verimi 290 m³/ ton UK’dır.

Davidsson ve Jansen (2006), atık su çamuruna çürütülmeden önce 35 °C’de 40 gün; enzim ekleme (% 6 oranında proteaz enzimi), ultrasonik arıtma ve hijyenizasyon (70 °C 1 saat) ön işlemlerini birlikte ve ayrı ayrı uygulamışlardır. Çalışmalarının sonucunda; en fazla metan gazı verimini (370 m³/ton UK) enzim eklenmiş, ultrasonik ön işlemde elde etmişlerdir.

Zupancic ve ark. (2007), Solenya’da yaptıkları çalışmada, evsel atık su arıtma tesisinden alınan çamurların mezofilik, sürekli beslemeli anaerobik çürütücüdeki uçucu

katı, toplam katı ve biyogaz üretim miktarlarını bir yıl boyunca gözlemlemiştir. Elde ettikleri sonuçlarda; sistem çıkış suyundaki uçucu katıda artma görülmemiştir ve azalma hızı ise % 71 den % 81'e çıkmıştır. Çalışmada; biyogaz miktarında % 80 artış ve biyogaz üretim veriminin 320 Nm³/ton UK'dan, 670 Nm³/ton UK'ya çıktığı, elektrik enerjisi üretiminin % 130 ve ısı enerjisi üretiminin % 55 arttığı görülmüştür.

Climent ve ark. (2007); çürütülmüş aktif çamurdan, termofilik koşullarda (55 °C) biyogaz üretiminde, mekanik ve termal ön işlemin etkisini araştırmışlardır. Çamura ön işlem uygulanması, hidroliz aşamasını hızlandırması ve çamurun stabilizasyonu için gerekli bekleme zamanını etkili şekilde azaltması amacıyla yapılmıştır. Evsel atık su arıtma tesisi aktif çamurunu (500 mL) 70 °C'de dört farklı saatte (9, 24, 48, 72 saat) termal ön işleme tabi tutmuşlardır. Elde ettikleri biyogaz üretimi 9, 24, 48, 72 saat ön işlem ile sırasıyla 330 ± 20 mL, 520 ± 70 mL, 460 ± 40 mL, 460 ± 10 mL ve 297 L ± 4 mL olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda; termofilik ön işlemin, termofilik bakterilerin biyolojik aktivitelerini arttırdığını rapor edilmiştir.

2.11.3 Anaerobik Arıtmada Duncan Testi Çalışmaları

Sözer ve Yaldız (2006), çalışmasında; süt sanayi atığı olan peynir altı suyu ve sığır gübresini çeşitli oranlarda karıştırarak biyogaz üretimlerini saptamıştır. Denemede organik kuru madde içeriği % 3 olan su ile seyreltilmiş sığır gübresiyle, peynir altı suyu kullanılmıştır. Çalışmada sadece sığır gübresi ve sığır gübresine % 5, % 10, % 20, % 40, % 50 ve % 75 oranlarında peynir altı suyu ilave edilmiş karışımlar kullanılmıştır. Elde edilen biyogaz üretim değerleri arasında istatistiki açıdan fark olup olmadığını tespit etmek için, veriler; Duncan testine tabi tutulmuştur. % 1 önem seviyesine göre % 40 ve % 50'lik karışımlarda, istatistiki olarak fark olmadığı saptanmıştır.

Adelekan ve Bamgboye (2009), çalışmasında; tapiyoka kabuklarını kanatlı, domuz ve sığira ait gübre türleriyle 1:1, 2:1, 3:1 ve 4:1 oranlarında karıştırmak suretiyle, elde ettikleri karışımları 3*4 faktöriyel deneme desenine göre, 30 gün süreyle anaerobik işlemlerin yapılacağı yığınlar bekleterek biyogaz üretim verimliliğini araştırmışlardır. Çürütülen tapiyoka kabuklarından elde edilen, ortalama biyogaz üretimi 0,6 L/kg-TS olarak bulunmuştur. Tapiyoka kabukları, kanatlı gübresiyle 1:1, 2:1, 3:1 ve 4:1 oranlarında karıştırıldığı zaman kümülatif biyogaz üretimi sırasıyla; 13,7, 12,3, 10,4 ve 9,0 L/kg-TS olarak bulunmuştur. Tapiyoka kabukları, domuz gübresiyle 1:1, 2:1, 3:1 ve 4:1 oranında karıştırıldığında bu değerler sırasıyla 35,0, 26,5, 17,1 ve 9,3 L/kg-TS'ye ulaşmıştır. Sığır gübresiyle karıştırılması durumunda bu değerler

sırasıyla 21,3, 19,5, 15,8 ve 11,2 L/kg-TS olarak bulunmuştur. Sonuçlar göstermektedir ki; tüm kanatlı gübre tiplerinin 1:1 oranında tapiyoka kabuklarıyla karıştırılmasında en yüksek biyogaz düzeyi elde edilmiş ve bunlar arasında en iyi sonuçta domuz gübresiyle olan karışımlarda bulunmuştur. Biyogaz üretim sonuçları Duncan çoklu aralık testine göre analiz edilmiştir. Biyogaz üretimi, kanatlı gübresi ve tapiyoka kabukları farklı oranlarda karıştırıldığı zaman önemli derecede etkilenmiştir ($P \leq 0,05$).

Achmad ve ark. (2011), taze market atıklarından üretilen biyogazın miktarı, biyogaz üretimine ait yarı pilot projeden elde edilen çamur, balçık ve biyogazın kalitesi ve miktarı ile işlemin ekonomik maliyeti üzerine bir fermentasyon aktivatörü olarak rumen (ışkembe) sıvısının ve bir mayanın (*Saccharomyces cerevisiae*) etkisini incelemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. 4*3 faktöriyel planda olan deneme, tamamen tesadüfi deneme desenine sahiptir. Buradaki 1.faktör, rumen sıvısının düzeyidir (% 2,5, % 5, % 7,5 ve % 10); 2.faktör, mayanın düzeyidir (0, 2 ve 4 g maya/kg atık). Deneme, 3 tekrarlı olarak planlanmıştır. Uygulanan işlemin ekonomik analizi, B/C oranı ve yarı pilot nitelikteki işlemin BEP'i üzerine dayanmaktadır. Sonuçlar göstermektedir ki; % 5 rumen sıvısı ve 4 g maya/kg atık karışımıyla en yüksek biyogaz üretimi elde edilirken bunu % 5 rumen sıvısı + 2 g maya/kg atık karışımı takip etmiştir. Yani sırasıyla 8,7 L/kg ve 7,8 L/kg atık'tır. Biyogaz % 60-63 metan içerdiği için, iyi bir kaliteye sahiptir. Kalitesinden dolayı çamur iyi bir organik gübre olarak kullanılabilir. Sonuçlar biyogaz üretim işleminin ekonomik olduğunu göstermektedir. Biyogaz üretim sonuçları Duncan çoklu aralık testine tabi tutulmuştur. Testin sonucuna göre; en yüksek biyogaz üretim miktarı 16,490 mL ile % 5 rumen sıvısı ve 4 g/kg *Saccharomyces cerevisiae* karışımında gözlenmiştir. Duncan testine göre bu karışımın biyogaz üretim veriminin, diğer karışımlara göre önemli bir farklılığının olduğu görülmüştür ($P < 0,01$).

Ojikutu Abimbola and Osokoya Olumide (2014), bazı gıda atıklarının (yer elması kabukları, muz kabukları, portakal kabukları ve balık atıkları) ayrı ayrı ve bunların karışımlarının anaerobik sindirimini karşılaştırmalı olarak incelemek amacıyla bunların yığın tipi çürütücülerde 70 gün süreyle çürüme sürecini incelemişlerdir. Deneme esnasında, sindirim sıcaklığı ve üretilen biyogazın hacmi günlük olarak, pH'sı ise haftalık olarak kaydedilmiştir. Çürüme % 8'lik bir konsantrasyonda, 30-37 °C arasında sağlanmaya çalışılmıştır. Uygulamanın önemli farklılıklarını belirlemek için Duncanın çoklu aralık testi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucu; gıda atık tipi, substratın sıcaklığı ve pH'sı üzerine önemli derecede etki ederken ($P > 0.05$), biyogaz üzerine etkili olmamıştır ($P \leq 0.05$). Ortalama değerler biyogaz üretiminin 1.090 mL/gün ile 8016,67 mL/gün

arasında değiştiğini göstermiştir. Araştırma, gıda atıklarının karışımının anaerobik çürümesinin biyogaz üretimini önemli derecede olmasa da, artırdığını göstermiştir ($P>0.05$).

2.11.4 Anaerobik Arıtımda Modelleme Çalışmaları

Öz Eldem ve Öztürk (2006), yapmış olduğu çalışmada; amonyağın inhibe edici konsantrasyonlarına alıştırılmamış floküler ve granüler aşılarda karakterize edilen farklı anaerobik mikroorganizma gruplarının mezofilik şartlarda, pH ve amonyak inhibisyonu karşısındaki davranışlarını, toplam biyogaz üretiminin izlendiği metanojenik aktivite testi kullanarak belirlemiştir. Deneyler, dört farklı pH değerinde (6,8, 7,4, 7,8, 8,4) ve altı farklı toplam amonyak azotu konsantrasyonunda (262 mg/L (kontrol), 1000 mg/L, 1.500 mg/L, 2.000 mg/L, 2.500 mg/L, 3.000 mg/L) yürütülmüştür. Zamana karşı çizilen biyogaz üretim eğrileri kullanılarak, eklenik metan üretim eğrileri elde edilmiştir. Eklenik metan üretim eğrilerinin modellenmesinde, modifiye edilmiş Gompertz eşitliği kullanılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda Gompertz modelinin, deneysel verilerin çok büyük bir kısmına iyi uyum gösterdiği bulunmuştur.

Genç (2010), çalışmasında; genel olarak modifiye olmuş Gompertz modeli ve Anaerobik Çürütme Modeli 1 (ADM1)'in kesikli fermantatif hidrojen üretim prosesinde substrat parçalanması, hidrojen üreten bakterinin büyümesi, hidrojen üretimi ve bazı çözünür metabolitlerin üretimini tanımlamak için kolaylıkla kullanılabildiğini göstermiştir. Modifiye olmuş Gompertz modeli ve ADM1 modeli ile öngörülen ve ölçülen hidrojen gelişimi arasındaki korelasyon katsayısı yüksektir ve bu modeller hidrojen profilini çok iyi öngörebilecek yeterliliktedir.

Zorlugenç ve Evliya (2011), çalışmasında; *Flavobacterium aurantiacum* NRRL B-184 suşunun potasyum fosfat tamponu (PFT) ortamında ve sıklıkla aflatoxin sorunu yaşanan kırmızı biber, mısır, zeytin, soya fasulyesi, kuru incir ve fındıkta aflatoxin B1 (AFB1)'i ortamdaki uzaklaştırma yeteneğini araştırmıştır. Aktifleştirilmiş *F. aurantiacum* NRRL B-184 suşunun triptik soy broth (TSB) besiyerinde ve 30 °C inkübasyon sıcaklığındaki gelişimine ait gelişme eğrisi elde edilmiş ve doğrusal olmayan regresyon analizi sonuçlarına göre gelişme eğrisini tanımlamada Modifiye Gompertz modelinin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Patil ve ark. (2012), su sümbülüne aşı olarak 0,25 L tavuk artığı eklemek suretiyle laboratuvar koşullarında biyogaz üretmektedir. Su sümbülü suda en hızlı büyüyen bitkidir. Bu bitki biyogaz üretiminde potansiyel bir kaynaktır ve çevre dostudur.

Laboratuvar deneylerinde su sümbülü, 0,25 L bio-rtc olarak kullanılmıştır ve sonuçlar modifiye edilmiş Gompertz eşitliği kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar kanatlı atığının 0,25 L aşılanması ile biyogaz üretimini önemli derecede iyileştirmiştir. Hatta artan biyogaz üretimi, su sümbülü ile karşılaştırıldığında 2 kat daha fazla olduğunu göstermiştir. İşlem sonunda oluşturulan grafikler, kümülatif biyogaz üretimini en iyi tanımlayan eşitliğin modifiye edilmiş Gompertz eşitliği olduğunu doğrulamıştır.

3. MATERYAL ve METOD

3.1 Çalışmada Kullanılan Hammaddeler

Tez çalışması kapsamında kullanılan hammaddeler; Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru ve % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımından oluşmaktadır. Bu dört numune ayrı ayrı çalışılmıştır.

3.2 Tokat AAT Arıtma Çamuru Üretimi, Örneklerin Alınması ve Hazırlanması

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi ve biyogaz ünitesi sonrasında alınan biyolojik arıtma çamuru örneği, alındıktan sonra vakit geçirilmeden laboratuvara getirilmiş analizler için bir kısmı ayrılmış ve geriye kalan kısım tam kuru hale gelinceye kadar 70 °C’de etüvde 1 gün süre ile kurutulmuştur. Tam kuru hale gelen örnekler öğütücüde öğütülüp, elek altında kalan örnekler ön işlemlerde kullanılmıştır.

3.3 Meyve Suyu Üretimi, Örneklerin Alınması ve Hazırlanması

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT çıkış arıtma çamurundan alınan örnek vakit geçirilmeden, laboratuvara getirilmiş analizler için bir kısmı ayrılmış ve geriye kalan kısım tam kuru hale gelinceye kadar 70 °C etüvde 1 gün süre ile bekletilmiştir. Tam kuru hale gelen arıtma çamuru örneği öğütücüde öğütülüp, elek altındaki örnekler hava almayan bir cam kavanozda korunmuş ve ön işlemler için bu örnekler kullanılmıştır.

3.4 Çalışmada Kullanılan Ekipmanlar

Hammaddeleri öğütmek için; Yerli Ünal Mühendislik ve Makine Sanayi’ye ait HO-1000 model halkalı öğütücü kullanılmıştır. Analizlerin yapımı sırasında kullanılmak üzere arıtılan saf su, MES marka MP MİNİPURE cihazıyla elde edilmiştir.

Numunelerin karıştırılma işlemleri için; Yüksel Kaya Makine marka shaking incubator kullanılmıştır. Çalışmalarda örneklerin tartım işlemleri için; $\pm 0,1\text{mg}$ duyarlılıkta Denver Instrument marka hassas terazi kullanılmıştır.

Kurutma işlemleri ve nem analizleri; Nüve Dry Heat Sterilizer FN-055 marka etüvde Standart Metotlara göre yapılmıştır. Kül ve uçucu madde (UM) tayinleri, Lentom marka 1200 °C’ye kadar ayarlanabilen kül fırınında Standart Metotlara göre yapılmıştır.

Hammaddelere uygulanan mikrodalga ve ısıl ön işlemlerinde; 70-700 W gücünde BEKO MD 1500, Model 5 mikrodalga fırın ve Termal Laboratuvar Aletleri firmasına ait N11742 model 400 °C'ye kadar ayarlanabilen 4 gözlü ceket ısıtıcı kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Mikrodalga fırın ve 4 gözlü ceket ısıtıcı

Çalışmalarda örneklerin pH ölçümleri için Hach marka Sension1 model pH metre kullanılmıştır. Çalışmada örneklerin MLSS analizleri için Sartorius çelik vakum filtrasyon süzme seti kullanılmıştır.

Numunenin KOİ analizi; Lange LT 200 marka ısıtıcı ve Lange DR 2800 marka cihazlarıyla ve Lange LCK 314 marka hazır kitleri kullanılarak, BOİ₅ analizinde; numune, Liebherr-FKU 1800 20C/774 marka inkübatörde 5 gün süreyle bekletildikten sonra, Lange DR 2800 marka cihazıyla, Dr.Lange BOD₅-BioKİT LZC 314 marka hazır kitleriyle ölçülmüştür.

3.5 Çalışmada Kullanılan Metotlar

Çizelge 3.1'de verilen parametrelerin analizleri standart metotlara göre laboratuvarında yapılmıştır.

Çizelge 3.1 Analizi yapılan parametreler ve analiz metotları

Parametre	Birim	Analiz Metot
pH	-	TS EN ISO 10523
MLSS	mg/L	APHA 1989
KOİ	mgO ₂ /L	TS 2789
BOİ	mgO ₂ /L	TS 4957-1 EN 1899-1
UM	%	İşletme İçi Metot

3.6 Çalışmada Kullanılan Hammaddelerle İlgili Analizler

Çalışmada hammadde olarak kullanılan, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT ve Tokat AAT'de biyolojik arıtma işlemi sonucunda oluşan ve herhangi bir dış etkene maruz kalmamasına özen gösterilerek alınan aktif çamur, hammadde olarak kullanılmıştır. Alınan örnek vakit geçirilmeden laboratuvara getirilerek nem, TKM, kül ve UM analizleri Standart Metotlara göre yapılmıştır (APHA, 2005). Hammaddeler, analizler yapılmadan önce karıştırma işlemiyle homojen hale getirilmiştir.

3.6.1 Nem ve Katı Madde Tayini

Analizlerde cam petriler kullanılmıştır. Örneklerden alınan numuneler, sabit tartımları daha önceden belirlenmiş olan petri kaplarına konulmuştur. Kütleleri belirlenen örnekler, etüvde, 70-80 °C'de 1 gün kurutulup kalan kütle gravimetrik olarak saptanmıştır. Kütle kaybında nem, kütlece ortalama % nem olarak hesaplanmıştır. Tüm işlemler üçlü paralel olarak yürütülmüş ve ortalamalar alınmıştır.

3.6.2 Kül Tayini

Analizlerde; önceden daraları belirlenmiş olan, 18 mL ve 25 mL'lik porselen krozeler kullanılmıştır. Meyve suyu arıtma çamuru ve tesis arıtma çamuru örneklerinden, yaklaşık 1'er g tartılarak, sabit tartımları, daha önceden belirlenmiş olan porselen krozelere konulmuştur. Kütleleri belirlenen örnekler; kül fırınında ağzı açık bir porselen kroze içinde, 550 °C'de 2 saat kavrulduktan sonra tartılıp kalan miktar gravimetrik

olarak saptanmıştır. Kütlece ortalama % kül olarak farktan hesaplanmıştır. Tüm işlemler üçlü paralel olarak yürütülmüş ve ortalamalar alınmıştır.

3.6.3 UM, BOİ₅, KOİ ve MLSS Derişimlerinin Saptanması

UM analizlerinde 10 mL'lik, BOİ₅, KOİ ve MLSS analizlerinde ise; 100 mL'lik cam şişeler kullanılmıştır. Bu şişelerden 5 gün aralıklarla, her seferinde bir tane alınarak UM, KOİ, BOİ₅ ve MLSS analizleri Standart Metotlara göre belirlenmiştir.

Bu kapsamda UM, numunelerin 550 °C'de kül fırınında, 2 saat süreyle yakılması suretiyle tespit edilmiştir. Numunenin KOİ analizi; ısıtıcı ve spektrofotometre cihazlarıyla, hazır kitleri kullanılarak, BOİ₅ analizinde; numune, inkübatörde, 5 gün süreyle bekletildikten sonra, spektrofotometre cihazıyla, hazır kitlerle ölçülmüştür.

MLSS derişimlerinin saptanmasında ise vakum filtrasyon sistemi kullanılmıştır. Filtre kâğıdı 105 °C de kurutulduktan sonra soğuması için 20-30 min desikatörde bekletilmiş ve tartılmıştır (**A**). Filtre kâğıtları süzme düzeneğine yerleştirildikten sonra süzme hunisine belli miktarda (V, ml) numune boşaltılmıştır. Vakum pompası süzme hunisinde bulunan numune bitinceye kadar çalıştırılmıştır. Filtre kâğıdı süzme düzeneğinden çıkartılıp 60 min süresince etüvde kurutma işlemi için tutulmuş ve soğuması için 20-30 min desikatörde bekletilmiştir. Kurutulmuş olan filtre kâğıdı hassas terazide tartılmıştır (**B**). MLSS derişimi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{MLSS (mg/L)} = (A-B) \cdot 1000/V$$

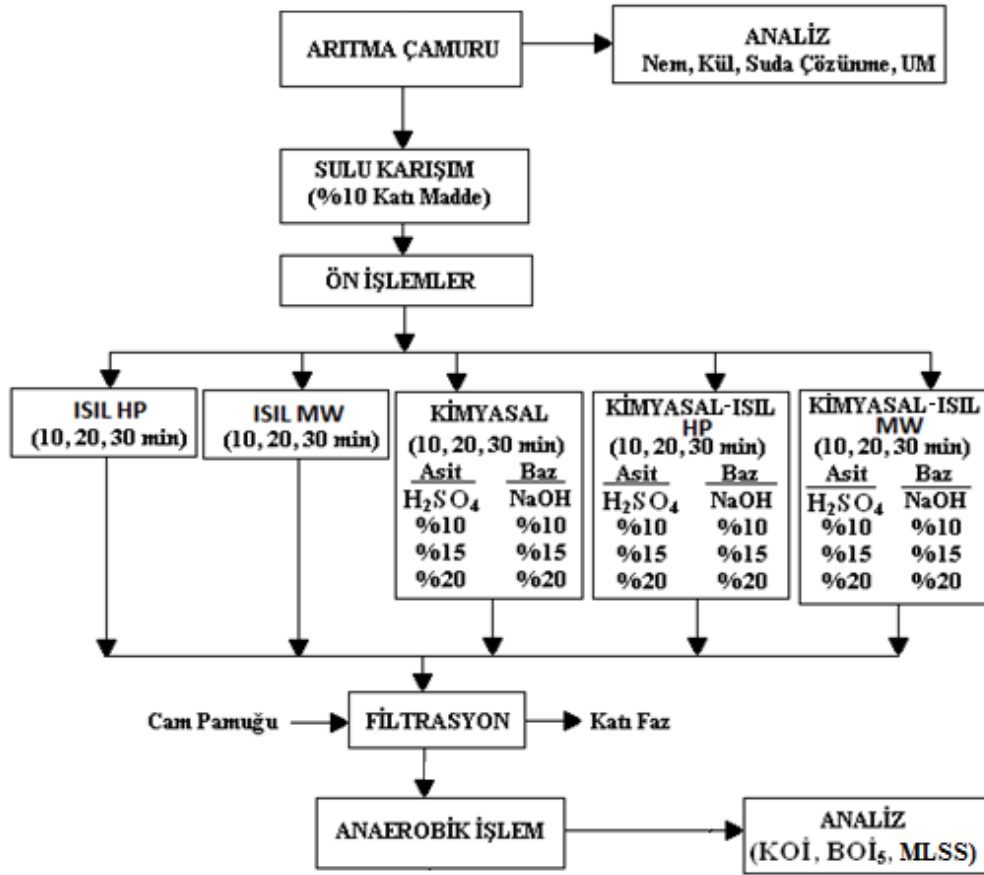
3.7 Çalışmada Kullanılan Hammaddelere Uygulanan Ön İşlemler

Yapılan araştırmalarda; anaerobik sistemlerde maksimum biyogaz üretim veriminin reaktöre verilen hammaddedeki katı maddenin kütlece % 6 ile % 10 arasında olduğunda gerçekleştiği ve metan üretim veriminin, kütlece % 12 katı madde oranından aşılması durumunda ise düştüğü görülmüştür (Desai ve ark., 1994). Bu sebeple yapılan çalışmada; örneklerle uygulanan ön işlemler, arıtma çamurunun kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına uygulanmıştır.

4 gözlü ceket ısıtıcıda yapılan ısıl ön işlemler, suyun normal kaynama sıcaklığında 4'lü balon ısıtıcıda 100 °C'de geri soğutucu altında, mikrodalga ısıl ön işlemler ise 700 W gücünde geri soğutucu altında mikrodalga fırında gerçekleştirilmiştir.

% 10 katı madde içeren çamur örneklerine asit ve baz eklenerek yapılan ön işlemler; hiçbir işleme tabi tutulmamış orijinal haliyle kör olmak üzere, çamurdaki katı maddenin % 10, % 15 ve % 20'si olacak şekilde; % 98'lik derişik H_2SO_4 (yoğunluğu 1,86 kg/L) % 50 oranında sulandırılarak veya kütlece % 25'lik sulu NaOH çözeltilerinden eklenmek suretiyle 10, 20 ve 30 min pişirilerek yapılmıştır.

Arıtma çamurlarına uygulanan işlemler ve akım şeması Şekil 3.2'de verilmiştir. Tüm işlemler üçlü paralel olarak yürütölmüş ve hesaplamalarda ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.2 Arıtma çamuruna uygulanan işlemler ve işlemlerin akım şeması

3.7.1 Oda Sıcaklığında Uygulanan Ön İşlemler

Oda koşullarında, kurutulup öğütülen arıtma çamuru örneklerinden 2'şer gram tartılıp kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlar hazırlanmıştır.

3.7.1.1 Kimyasal Ön İşlemler

Asidik Ön İşlemler

H₂SO₄'ün sulu çözeltisi ile yapılan kimyasal ön işlemlerde, arıtma çamuru örneklerinin kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlege % 10, % 15 ve % 20'si olacak şekilde % 98'lik derişik H₂SO₄ (yoğunluğu 1,86 kg/L) % 50 oranında sulandırılarak eklenmiştir.

Bazik Ön İşlemler

NaOH'ın sulu çözeltisi ile yapılan kimyasal ön işlemlerde, arıtma çamuru örneklerinin kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına karışımdaki katı maddenin kütlege % 10, % 15 ve % 20'si olacak şekilde kütlege % 25'lik sulu NaOH eklenmiştir.

3.7.1.2 Isıl HP (Hot Plate) Ön İşlemler

Arıtma çamuru örneklerinin kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımları doğrudan suyun normal kaynama sıcaklığında, 10, 20 ve 30 min geri soğutucular altında kaynatılarak katı maddelerin suda çözünürleştirilmesine çalışılmıştır. Şekil 3.3'te ısıl ön işlem uygulama düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.3 Isıl ön işlem uygulama düzeneğinden bir görünüş

3.7.1.3 Isıl MW (Microwave) Ön İşlemler

Öğütülen arıtma çamuru katı atıkları mikrodalga fırın içerisinde 700 W gücünde doğrudan olmak üzere 10, 20 ve 30 min geri soğutucu altında mikrodalga radyasyonu ile ön işleme tabi tutulmuştur. Ön işlem uygulama düzeneği Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Mikrodalga ön işlem düzeneğinden bir görünüş

3.7.1.4 Kimyasal-Isıl HP Ön İşlemler

Asidik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl HP Ön İşlemler

H₂SO₄'ün sulu çözeltisi ile yapılan kimyasal ön işlemlerde, arıtma çamuru örneklerinin kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlege % 10, % 15 ve % 20'si olacak şekilde H₂SO₄ eklenmiş, suyun normal kaynama sıcaklığında geri soğutucu altında 10, 20 ve 30 min ön işlem uygulama düzeneğinde kaynatılmıştır.

Bazik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl HP Ön İşlemler

NaOH'ın sulu çözeltisi ile yapılan kimyasal ön işlemlerde, arıtma çamuru örneklerinin kütlege % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlege % 10, % 15 ve % 20'si olacak şekilde NaOH eklenmiştir. Suyun normal kaynama sıcaklığında geri soğutucu altında 10, 20 ve 30 min uygulama düzeneğinde kaynatılmıştır.

3.7.1.5 Kimyasal-Isıl MW Ön İşlemler

Asidik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl MW Ön İşlemler

H₂SO₄ ile kimyasal ön işlemlerde, arıtma çamuru örneklerinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve % 20'si olacak şekilde H₂SO₄ eklenmiştir. Örnekler daha sonra mikrodalga fırın içerisinde, 700W gücünde doğrudan olmak üzere 10, 20 ve 30 min geri soğutucular altında mikrodalga radyasyonu ile ön işleme tabi tutulmuştur.

Bazik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl MW Ön İşlemler

NaOH'ın sulu çözeltisi ile kimyasal ön işlemlerde, arıtma çamuru örneklerinin kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddenin kütlece % 10, % 15 ve % 20'si olacak şekilde NaOH eklenmiştir. Örnekler daha sonra mikrodalga fırın içerisinde, 700 W gücünde doğrudan olmak üzere 10, 20 ve 30 min geri soğutucular altında mikrodalga radyasyonu ile ön işleme tabi tutulmuştur.

3.8 Suda Çözünürlüklerin Saptanması

Suda çözünürlüklerin saptanması işleminde önceden sabit tartıma getirilmiş hassas terazide cam pamukları tartılmıştır. Ön işlem uygulanmış numuneler cam pamuklarına alınarak süzme işlemi başlatılmıştır.

Cam pamuğundan süzme işlemi, 330 mL lik PET su şişeleri üzerinde, içlerine cam pamuğu yerleştirilmiş huniler kullanılarak yapılmıştır.

Oda sıcaklığında; ön işlemsiz ve kimyasal, ısı HP, ısı MW, kimyasal-ısı HP, kimyasal-ısı MW ön işlemleri uygulanmış kütlece % 10 katı madde içeren sulu karışımlar, süzme işlemi sırasında tam olarak suda çözünebilen maddeler kalmayınca kadar yani aşağıya inen su şeffaflaşınca kadar devam ettirilmiştir.

Süzme işlemi sonucu cam pamuğunda kalan katı, etüvde 70 °C-80 °C'de sabit tartıma getirilinceye kadar kurutulmuş, etüvden çıkartılan örnekler tartılmadan önce desikatörde soğutulmuş (Şekil 3.5) ve suda çözünme yüzdesini bulmak için tartımları alınmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.5 Sulu faza geçmeyen katı kısmın etüvde kurutulması ve etüvden çıkartılan örneklerin tartılmadan önce desikatörde soğutulması



Şekil 3.6 Numunelerin suda çözünme işleminden sonra tartılması

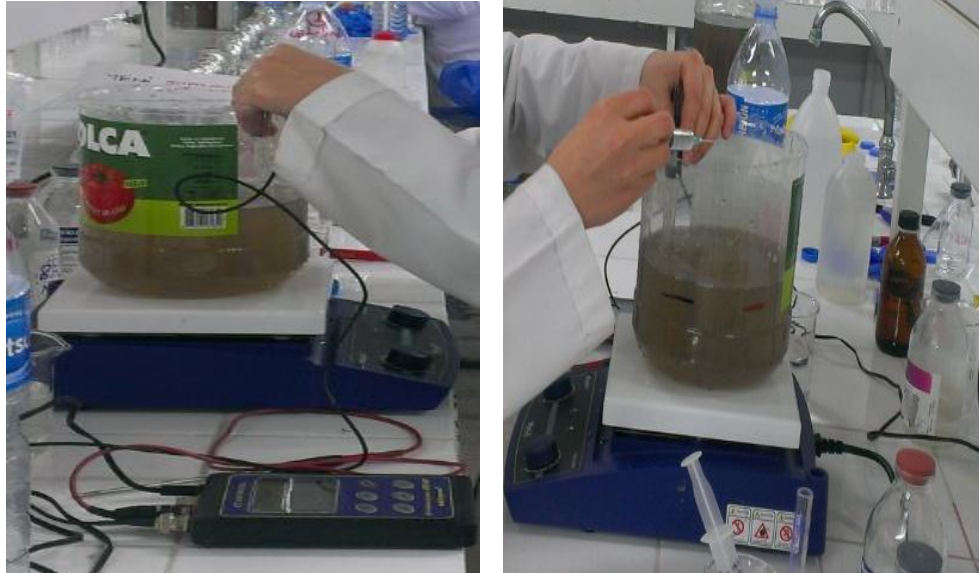
Bu çalışmada Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru ve % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı kullanılmıştır. 3 tekerrürlü olarak toplamda 588 adet suda çözünme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.7). Suda çözünme deneylerinden sonra analiz yapmak üzere en fazla suda çözünürlüğe sahip 24 farklı numune seçilmiştir.



Şekil 3.7 Suda çözünme işlemi sonunda şişelenmiş sulu fazlar

3.9 Seçilen Sulu Fazların Analizler İçin Hazırlanması

Seçilen 24 adet sulu fazın pH'larını biyogaz üreten bakterilerin yaşama pH'ları olan 7'ye ayarlamak için; asidik ön işlem uygulanan sulu fazlara NaOH çözeltisi, bazik ön işlem uygulanmış sulu fazlara ise H_2SO_4 çözeltisi kullanılmıştır. Örneklerin pH'larının ayarlanması Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Örneklerin pH'larının ayarlanması

Ön işlemsiz ve kimyasal, ısıtıl HP, ısıtıl MW, kimyasal-ısıtıl HP, kimyasal-ısıtıl MW ön işlem koşullarından elde edilen % 10'luk sulu fazların konulacağı şişeler, anaerobik olarak parçalanması için ışık geçirgenliği olmayacak şekilde alüminyum folyo ile

sarılmıştır. Biyogaz, metan, BOI_5 , KOI , MLSS ölçümleri için 100 ml'lik şişeler, UM ölçümleri için 10 ml'lik şişeler kullanılmıştır. Anaerobik işlem için kullanılacak serum şişelerinin hazırlanması, aşağıda Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Anaerobik işlem için serum şişelerinin hazırlanması

100 mL ve 10 mL'lik şişelere ön işlemlerden elde edilen örnekler, şişelerin 3/4'ünü kapsayacak hacimlerde doldurulmuştur. Şekil 3.10'da anaerobik işlem için kullanılan serum şişeleri ve bunlara numunelerin doldurulması gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Analiz için kullanılacak şişeler ve numunelerin doldurulması

Tüm sulu fazlara, metan oluşumunu gerçekleştirmek üzere, aşılama yapılmıştır. Aşı çözeltisi, % 5 katı madde içeren taze inek gübresinin cam pamuğundan süzülmesi ile elde edilen sulu çözeltiden elde edilmiştir. Aşı malzemesinin süzülerek kullanıma

hazır hale getirilmesi Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Anaerobik işlem için; 100 ml’lik şişelere 4 ml, 10 ml’lik şişelere 0,35 ml aşı çözeltisi ilave edilmiştir.



Şekil 3.11 Aşı çözeltisinin filtre edilerek, kullanıma hazır hale getirilmesi

İçerisine numunelerin ve aşı çözeltisinin konulduğu serum şişelerinin ağzları kauçuk kapakla kapatılarak, sızdırmazlığı sağlamak üzere sıkıca şeffaf paket bandıyla sarılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Kapakları kapatılmış ve bantlanmış serum şişeleri

Belirli hacimlerde numuneler konularak kapakları kapatılan 100 mL’lik şişelere yaklaşık 45 saniye, 10 mL’lik şişeler ise 10 saniye süresince azot gazı basılarak (Şekil 3.13), şişelerin içerisinden oksijenin tamamen uzaklaştırılması sağlanmıştır. Bu esnada şişelere azot gazı basılırken, gaz tahliyesi için ikinci bir serum iğnesi kullanılmıştır.



Şekil 3.13 a. Azot gazı tüpü



Şekil 3.13 b. Örnekler azot gazı basılması

3.10 Anaerobik İşlem Süresince Oluşan KOİ, BOİ₅, MLSS, UM Derişimlerinin ve Biyogaz, Metan Miktarlarının Saptanması

Anaerobik ortam koşulları sağlanan şişeler, optimum koşulların sağlanabilmesi için; sıcaklığı 35 °C'ye ayarlanmış bir inkübatörde, anaerobik biyolojik parçalanmaya bırakılmıştır. KOİ, BOİ₅, MLSS ve UM derişimlerinin saptandığı şişelerde oluşan gazlar, beşer günlük aralıklarla boşaltılmıştır (Şekil 3.14).



(a)

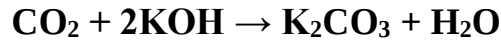


(b)

Şekil 3.14 a. Anaerobik işlemdeki örneklerin inkübatörde 35°C'de bekletilmesi, b. Analizlerin yapıldığı şişelerde oluşan gazın boşaltılması

Biyogaz oluşması için inkübatöre konulan 100 mL'lik serum şişelerinde oluşan biyogazın ve metanın hacmi, oluşturulan Orsat Gaz Analiz Cihazı'na benzer bir düzenekte (Şekil 3.15) ölçülmüştür. Bu alette ilk olarak biyogaz hacmi belirlenmiş, ardından biyogazın tamamı seviye şişesi vasıtasıyla cihaz üzerinde bulunan ve içerisinde CO₂ absorplayıcı % 33'lük KOH çözeltisi bulunan absorpsiyon kolonuna alınmış, burada birkaç kez gaz bu çözeltiyle yıkanarak tüm CO₂'nin absorplanması sağlanmıştır.

CO₂'in KOH ile oluşturduğu tepkime aşağıdaki denklemde verilmiştir.



Ardından kalan gaz alet üzerindeki diğer gaz seviyesinin ölçüldüğü bürete sevk edilmiş ve buradan da metan hacmi okunmuştur.



Şekil 3.15 Biyogaz ve metan ölçümünde kullanılan Orsat tipi gaz ölçüm aleti

3.11 Biyogaz Üretim Verimlerine Uygulanan İstatistiksel Analiz

Tez kapsamında elde edilen biyogaz verileri istatistiki açıdan da değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan amaç; anaerobik işlem neticesinde ortaya çıkan sonuçları, istatistiki bir yöntemle dayandırmaktır. Bu kapsamda SPSS 17 istatistik paket programı kullanılmıştır. Çalışma "Tesadüf Parselleri Deneme Planına" uygun olarak hazırlanmıştır. Öncelikle numune sayısına bağlı olarak uygulanacak teste karar verilmiştir. İki numune varsa T

veya Z testi, ikiden fazla numune varsa varyans analizi yapılması gerekmektedir. Varyans analizinin yapılabilmesi için varyansların homojen olması gerekmektedir. Bunun için levene varyans homojenlik testi uygulanmıştır.

Varyans analizi (ANOVA-Analysis of variance) iki ya da daha fazla sayıda örneğe ait olan ortalamalar arasında istatistiki olarak önemli fark olup olmadığını ortaya koymak için kullanılan bir yöntemidir. Bu analiz yöntemi iki ya da daha fazla faktörün ana etkilerini ve/veya birlikte oluşturdukları interaksiyonların etkilerini değerlendirmek için kullanılabilmektedir (Bek ve Efe, 1995).

Varyanslar homojen çıktığında ($P>0,05$) varyans analizi aşamasına geçilmektedir. Varyans analizinde tesadüf parselleri deneme planı uygulanmaktadır. Planın matematik modeli;

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

Y_{ij} = i. muameleye ait j. tekerrürün gözlem değeri

μ = populasyon ortalaması

α_i = i. muameleye ait etki payı

e_{ij} = i. muamelenin j. tekerrürüne ait tesadüfi hatasıdır (Efe ve ark., 2000).

Varyans analizi homojen ($P<0,001$) çıktığında Duncan testine geçilmektedir. Duncan testi ($P<0,05$), yöntemler arasındaki farkı (hangisi yada hangileri birbirinden farklı) bulmak için yapılmaktadır. Duncan testinde harflendirme işlemi, hangi ortalamaların birbirine eşit hangilerinin farklı olduğu gösterilmek için yapılmaktadır.

Duncan (DMR) Çoklu Aralık Testi

Duncan testinde de SNK testinde olduğu gibi karşılaştırılan ortalamaların birbirlerine uzaklıklarına göre farklı kritik değerler hesaplanmaktadır. Ancak deneme hatasından korunma oranı Duncan testinde SNK testinden daha küçüktür. Bu özelliğinden dolayı daha küçük gerçek ortalama farklarının Duncan testinde önemli bulunması ihtimali daha yüksektir. Araştırmacı üzerinde çalıştığı denemede muameleleri birbirinden farklı bulmayı, farksız bulmaktan daha çok istediği için Duncan testini tercih etmektedir. Bununla birlikte işlenen I.tip hata seviyesinin de SNK testinden daha yüksek olduğu dikkate alınmalıdır.

Duncan testinin uygulamasıda SNK testinde olduğu gibidir. Değişken sadece cetvelin daha toleranslı oluşudur (Yıldız ve Bircan, 1994).

3.12 Günlük ve Kümülatif Biyogaz Üretim Miktarlarına Uygulanan Modelleme Çalışması

Tez kapsamında yapılan modelleme çalışmasındaki amaç, tabloları kullanmadan güne bağlı olarak biyogaz üretim verimlerinin bir takım matematiksel eşitliklerle tahmin edilebileceğini göstermektir.

Bu amaç doğrultusunda; Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru ve % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımlarından oluşan dört numunenin günlük biyogaz üretim miktarları; sigmaplot programından Lineer (doğrusal), Exponential growth (üstel artma)-Exponential decay (üstel azalma) ve Gaussian eğrisi modelleri kullanılarak yapılmıştır. Tahmini biyogaz üretim oranı için, artma zamanıyla ve zirveden sonra sıfıra doğru sürekli bir azalmayla meydana gelen doğrusal bir eğri geliştirilmiş olup, artan ve azalan eğrilerin iki aşamalı doğrusal eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$y = a \cdot x - b \text{ (artan)}$$

$$y = -a \cdot x + b \text{ (azalan)}$$

y; x zamandaki biyogaz üretim oranı

a; eğim (artan eğimlerde a pozitif, azalan eğimlerde a negatiftir)

b; kesişme noktası

Tahmini biyogaz üretim oranı için, artma zamanıyla ve zirveden sonra sıfıra doğru sürekli bir azalamayla meydana gelen üstel bir eğri geliştirilmiş olup artan ve azalan eğrilerin iki aşamalı üstel eğri eşitlikleri aşağıda verilmiştir.

$$f = a \cdot \exp(b \cdot x) \text{ (artan)}$$

$$f = a \cdot \exp(-b \cdot x) \text{ (azalan)}$$

f; x zamanda biyogaz üretim oranı

a; kesişme noktası

b; eğim (artan eğimlerde a pozitif, azalan eğimlerde a negatiftir)

Tahmini olarak biyogaz üretim oranı ve mikrobiyal kinetik artma ve azalma eğrisinde, çürüme süresince izlenen yol boyunca normal bir dağılım izlenmiştir. Artan ve azalan eğrilerin bir grafikte gösterildiği Gaussian eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$f = a \cdot \exp(-0,5 \cdot ((x-x_0) / b)^2)$$

f; x zamanda biyogaz üretim oranı

x_0 ; meydana gelen biyogaz üretim oranındaki maximum zaman

a; kesişme noktası

b; eğim (artan eğimlerde a pozitif, azalan eğimlerde a negatiftir)

Ayrıca kümülatif biyogaz üretim miktarlarına Exponential rise to maximum (maksimum üstel artış) ve Gompertz eşitlikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Maksimum üstel artış eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$f = a \cdot (1 - \exp(-b \cdot x))$$

f; x zamanda oluşan toplam biyogaz miktarı

x; çürüme periyodu boyunca zaman

a; biyogaz üretim potansiyeli

b; birinci dereceden kinetik sabiti

Karşılaştırmada kullanılan bir diğer eşitlik Gompertz eşitliğidir. Bu modelin denklemi aşağıda verilmiştir (Lo ve ark., 2010).

$$f = a \cdot \exp(-\exp(-(x-x_0) / b))$$

f; x zamanda oluşan toplam biyogaz miktarı

x; çürüme periyodu boyunca zaman

x_0 ; meydana gelen biyogaz üretim oranındaki maximum zaman

a; biyogaz üretim potansiyeli

b; birinci dereceden kinetik sabiti

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Hammaddelerin Alındığı Tesisler, Çamur Üretimi ve Çamur Özellikleri

4.1.1 Tokat Belediyesi AAT

Tokat, yaklaşık 133.000 nüfusa sahip büyük bir ildir. Tokat AAT; tesis; kanalizasyon kollektörüne ve arıtılmış atıksu deşarj noktasına yakınlığı, tesis etrafında herhangi bir yerleşim alanının bulunmaması ve arıtma tesisi için yeterli büyüklükte bir alan olması sebepleriyle, 10.05.2010 tarihinde Tokat İli sınırları içerisinde, Taslıçiftlik Mevkii'nde, 75.000 m²'lik bir alan üzerine kurularak, işletmeye alınmıştır.

Atıksu Oluşumu (Tesis Gelecek Yük):

Tesisin tasarımında 2020 ve 2035 yılı nüfuslarının sırasıyla 200.000 ve 270.000 kişi alınması öngörülmüştür. Bu değer yıllık artış hızının % 2.3'üne eşdeğerdir. Arıtma tesisi, 200.000 kişilik nüfusa ve 33.000 nüfus eşdeğeri endüstriyel faaliyet için fiziksel ve biyolojik kademeli bir biyolojik azot giderme (BNR) tesisidir. Arıtma tesisi 270.000 kişi ve 44.000 nüfus eşdeğeri endüstriyel faaliyet artışına cevap verebilmektedir. Endüstriyel katkıyı da içeren tesis kapasitesi aşağıdaki şekilde olmaktadır.

Tesis Kapasitesi;

33.120 m³/gün (ortalama) atıksu

20.000 kg/gün Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

10.000 kg/gün Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

10.000 kg/gün Toplam Askıda Katı Madde (TAKM)

1.900 kg/gün Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)

344 kg/gün Toplam Fosfor (TP) giderecek şekilde boyutlandırılmıştır.

Arıtma Tesisi Teknolojik Prosesleri

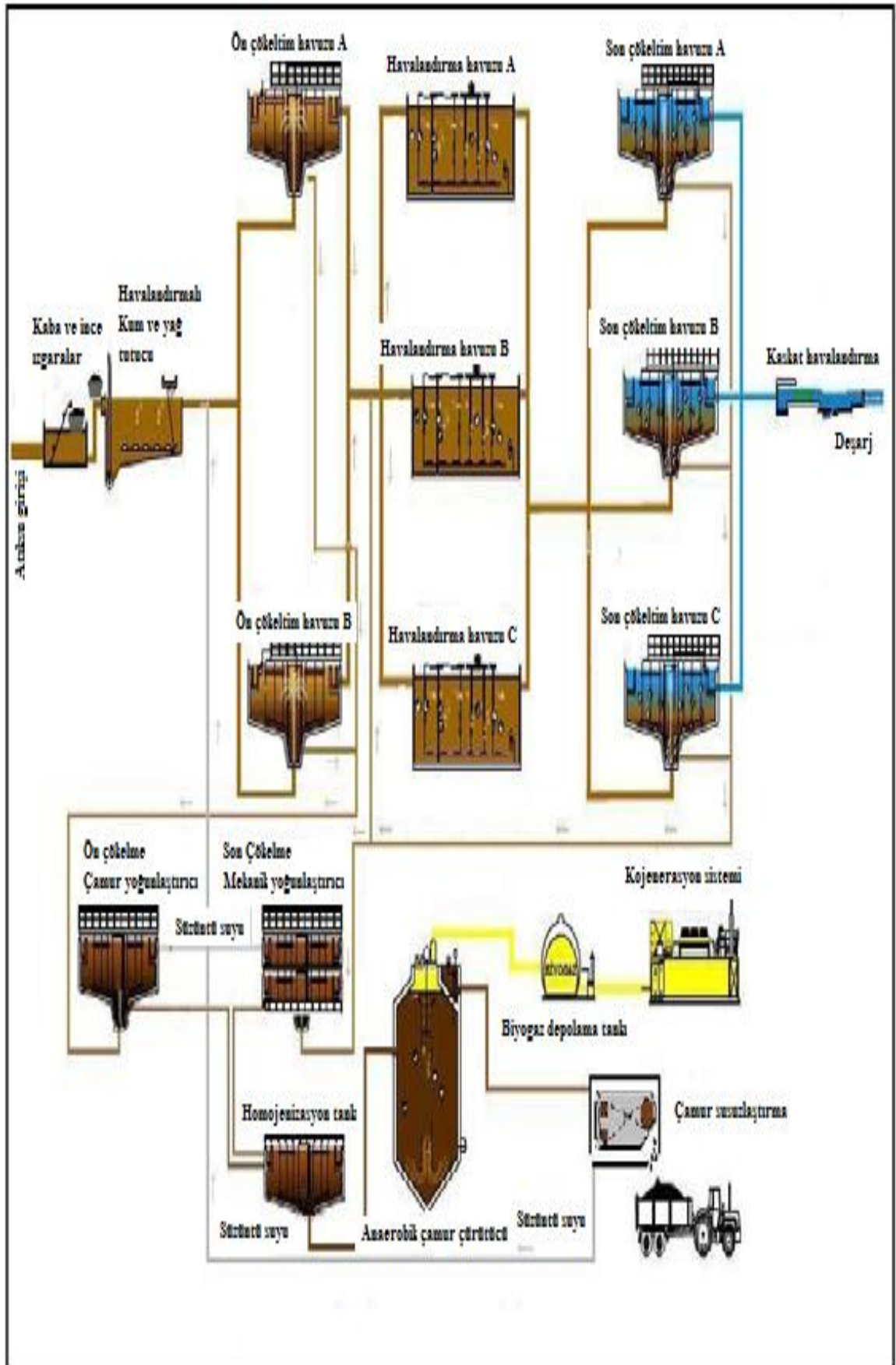
Arıtma tesisinin proses seçimi ve tasarımı, Türkiye ve Avrupa Birliği mevzuatı dikkate alınarak yapılmıştır. Ortalama çıkış suyu; % 84 KOİ, % 92 BOİ₅, % 90 TAKM giderim ile çalışmaktadır. Evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları nedeniyle yüksek derecede kirlenmiş olan Yeşilırmak Nehri'ne atılan kirlilik yükünde azalma sağlanmaktadır.

Kentsel Atıksu Direktifine Özel Yatırım Planı baz alınarak, AB Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi (91/271/EC)'ne göre, Tokat'ta arıtılmış atıksuyun deşarj edileceği Yeşilırmak Nehri, hassas olmayan bölge olarak belirtilmiştir. Arıtılmış atıksuların

Yeşilırmak Nehri'ne deşarj edilmesi nedeniyle giderilmesi gereken; BOİ₅, KOİ, TAKM ve pH parametreleri ile birlikte alıcı ortamlardaki canlı yaşamını korumak amacıyla amonyak parametresinin de giderilmesi öngörölmüştür. Bu noktadan hareketle tasarıma esas olacak deşarj standartlarına amonyum azotu ve oksijen parametreleri ilave edilmiştir.

Tokat AAT; kaba ızgara, pompa istasyonu, ince ızgara, kum tutucu, ön çöktürme havuzu, biyolojik havuzlar, son çöktürme havuzu, çamur yoğunlaştırma, havasız çamur çürütme, susuzlaştırma, kurutma ve çamur depolama ünitelerinden oluşmaktadır. Atıksu arıtımı aynı anda aktif çamur stabilizasyonuna, nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemlerinin kontrolüne imkan veren uyarlanmış uzun havalandırma arıtma prosesi ile yapılmaktadır. Biyolojik arıtma işleminden çıkan aktif çamur (biyogaz elde etmek için digester ile çürütöldükten sonra), mekanik olarak susuzlaştırıldıktan sonra analizleri yapıp tarımsal alanlarda kullanılmak üzere çalışmalar yapılmaktadır.

Tesis ana ekipmanların kontrolü ve tesisin izlenmesi amacıyla Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) sistemini içeren bir kontrol ve otomasyon sistemiyle donatılmıştır. Tesise ait akım şeması Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Tokat AAT akım şeması

Tokat AAT Kojenerasyon Santrali

Tamamen fiziksel ve biyolojik arıtma ünitelerinden oluşan bu tesiste, anaerobik (oksijensiz) çürütücülerde üretilen biyogazdan elde edilen elektrik enerjisi ile işletme maliyetlerinde önemli bir tasarruf elde edilmektedir. Tokat AAT'ne ait çamur homojenizasyon tankı ve anaerobik çamur çürütme tankı Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2 Tokat AAT çamur homojenizasyon tankı ve anaerobik çamur çürütme tankı

Tesisten alınan bilgilere göre, günlük olarak oksijensiz çamur çürütme tankına (digester) 200 m³ çamur ilave edilmektedir. Bu oran 35 °C optimum sıcaklık ve 22 günlük çamur bekleme süresi baz alınarak belirlenmiştir. Sıcaklık değişimlerine bağlı olarak çamur besleme miktarı Şekil 4.3'te gösterilen besleme pompaları ile ayarlanabilmekte ve zaman zaman besleme miktarında artış ya da azalmalara gidilebilmektedir.



Şekil.4.3 Tokat AAT Besleme pompaları

Çamurun sıcaklığını sabit tutmak ve homojenliğini sağlamak amacıyla kullanılan resirkülasyon pompası (Şekil 4.4), çürütücünün alt kısmından soğuk haldeki çamuru alarak eşanjör sistemine doğru iletimini sağlamakta ve daha sonra ısıtılan çamuru tekrar digesterin orta kısmından vermektedir. Çürütücünün iç sıcaklığının sürekli olarak 35 °C olması istenmektedir. Biyogaz eldesi için çürütücünün iç sıcaklığının korunması şarttır, bu sebepten ötürü resirkülasyon pompası çok önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 4.4 Tokat AAT Resirkülasyon pompası

Çamur çürütme tankı içerisinde anaerobik ortamda çalışabilen mezofilik bakteriler bulunmaktadır. Bu bakteriler metan gazı oluşumundan sorumludur. Çürütücünün toplam hacmi 4500 m³'tür. İçerideki çamurun eşanjör sistemi (Şekil 4.5) sayesinde ısıtılması ile beraber biyogaz tankına gaz dolmaya başlar. Bunun için hacmi 1500 m³ olan çift cidarlı balon şeklinde bir tank (Şekil 4.6) kullanılmaktadır. Çift cidarlı olmasının sebebi biyogazın sıkıştırılmasının tehlikeli olmasıdır. Bunu önlemek için kullanılan fanlar sayesinde 2 cidar arasındaki boşluğa sürekli olarak hava giriş çıkışı sağlanarak iç cidarın esneklik kazanması ve sıkışmaması sağlanmaktadır. Balon hacminin 1500 m³ olmasına karşın bu tankın doluluk oranı % 90'ın üzerine çıkmayacak şekilde kontrol altında tutulmaktadır. Böylece olası bir patlamanın önüne geçilmektedir.



Şekil 4.5 Tokat AAT Eşanjör



Şekil 4.6 Tokat AAT Biyogaz depolama tankı

Biyogaz tankında bulunan fazla gazı yakmak için ise meşale (Şekil 4.7) kullanılmaktadır.



Şekil 4.7 Tokat AAT meşale

Tesiste bulunan ve Şekil 4.8’de görülen brülör-kazan sadece eşanjörün değil bütün tesisin ısıtılmasında kullanılmaktadır. Brülör; fuel-oil veya biyogaz ile çalışabilmektedir. Brülör saatlik olarak ortalama 30–35 m³ biyogaz harcamaktadır.



Şekil 4.8 Tokat AAT brülör-kazan

Tokat AAT’nde motoru 8 silindirli olan Alman yapımı bir jeneratör bulunmaktadır. Saatte 330 kW enerji üretim kapasitesine sahip olan bu jeneratör 128 m³ biyogaz tüketmektedir. Bu jeneratör hem kendi paneli ile manuel kodlama hem de Scada otomasyon sistemi ile kontrol edilebilmektedir. Şekil 4.9’da Tokat AAT kojenerasyon ünitesi görülmektedir.



Şekil 4.9 Tokat AAT kojenerasyon ünitesi

Tez çalışması kapsamında örneklerin alındığı tarihteki; tesisin çamur çürütme tankına verilen çamur hacmi, üretilen biyogaz ve elektrik miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Tokat AAT biyogaz ünitesine günlük verilen çamur miktarı, tesisin günlük biyogaz ve elektrik üretim miktarları

TARİH	Beslenen Çamur Miktarı (m³)	Üretilen Biyogaz Miktarı (m³)	Üretilen Elektrik Miktarı (kW)
28.07.2012	193,54	1075,69	2400
29.07.2012	198,12	1134,35	2100
30.07.2012	198,08	1087,53	3200
31.07.2012	196,18	1157,94	3700
01.08.2012	217,34	955,13	3900
02.08.2012	84,33	649,23	1200
03.08.2012	137,99	587,4	2800
04.08.2012	167,86	826,25	2800
05.08.2012	174,25	901,63	3250
06.08.2012	190,01	1054,34	2750
07.08.2012	169,65	852,05	2800
08.08.2012	157,41	804,47	2400
09.08.2012	184,26	980,32	3400
10.08.2012	199,32	1075,25	3650
11.08.2012	212,24	1223,75	3800
12.08.2012	178,16	1020,13	3700
13.08.2012	187,63	1047,58	3400
14.08.2012	180,21	1075,23	2600
15.08.2012	193,34	856,85	2900
16.08.2012	212,34	755,32	3600
17.08.2012	245,40	923,90	1700
18.08.2012	241,75	978,28	3800
TOPLAM	4.119,42	21.022,62	65.850,00

Tesisten alınan bilgilere göre; biyogaz ünitesine giren çamurun yoğunluğu 1,03 ton/m³, katı madde içeriği ise % 3,35-5,65 arasındadır. Tesisin günlük elektrik tüketimi 7.000-8.000 kW arasındadır ve yıllık geri kazanım % 21,8'dir.

4.1.2 Dimes A.Ş. Muhtelif Sebze, Meyve Suyu, Alkollü ve Alkolsüz İçecekler Üretim Tesis

Çalışmamızın diğer kısmını oluşturan Dimes A.Ş. Muhtelif Sebze, Meyve Suyu, Alkollü ve Alkolsüz İçecekler Üretim Tesis, 41.032 m²'lik sanayi parseli üzerine kurulu durumda bulunmaktadır. Tesisteki toplam kapalı alan 14.000 m²'dir. Üretimi yapılan ürünler ve günlük üretim kapasiteleri Çizelge 4.2'de, üretim esnasında kullanılan hammaddeler ve miktarları Çizelge 4.3'te gösterilmektedir (Dimes A.Ş., 2007).

Çizelge 4.2 Üretimi yapılan ürünler ve günlük üretim kapasiteleri

Ürünler	Miktar (ton/gün)
Meyve Nektarı, Meyveli İçecek, Meyve Suyu Üretimi	100
Reçel, Marmelat Üretim	15
Meyve Konsantresi Üretimi	50
Meyve Pulpu Üretimi	250
Şarap Üretimi	5

Çizelge 4.3 Üretim esnasında kullanılan hammaddeler ve miktarları

Hammadde	Miktar (ton/yıl)
Elma	20.000
Vişne	5.000
Kayısı	5.500
Şeftali	7.500
Üzüm	2.000
Kuşburnu	500
Domates	400
Kuşburnu Püresi	275
Üzüm Konsantresi	1.820

Tesisin ihtiyaç duyduğu muhtelif meyve ve sebzeler bölgede bulunan üretim çiftliklerinden sağlanmaktadır.

Tesise meyve nektarı ve meyve suyu üretimi amacı ile gelen hammaddeler (ihtiyaç dâhilindeki meyveler) ilk olarak içerisindeki istenmeyen yabancı maddelerin

(meyve sapları, çürük mamul vb.) alınması amacı ile, ön ayırıştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Ön ayırıştırma işleminden çıkan mamul daha sonra çekirdeğin ve meyve posasının ayrılması amacı ile eritme değirmenine gönderilmektedir. Eritme değirmeninden çıkan meyveler, meyve nektarı/meyveli içecek hazırlama ünitesine gönderilmektedir. Filtreden geçen meyve nektarı, ara depolama ve ön ısıtmadan sonra tekrar fitrasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Filtrasyon işleminden çıkan mamüllerde daha sonra koku giderimi yapılmaktadır. Daha sonra ürün, homojen duruma getirilmek amacı ile homojenizasyon ünitesine gönderilmektedir. İhtiyaç dâhilinde üretimi yapılacak olan berrak ürün elde etmek için ise homojenizasyon işlemi yapılmadan mamul direk pastörizasyona gönderilmektedir. Pastörizasyondan sonra şişe olarak ambalajlanacak meyve suları ısıtılarak, TMİEKEK (termoplastik madde ihtiva eden karton içeren kutular) olarak ambalajlanacaklar ise soğutularak, ambalajlama işlemlerine hazır hale getirilmektedir.

Tesiste çalışan personelden ve prosesten kaynaklı yaklaşık 600 m³/gün su kullanımı söz konusu olmaktadır. Tesiste açığa çıkan atıksu orta kirlilikte evsel atıksu özelliği ile karakterize edilebilir.

Tesiste üretim, mevsime bağlı olarak yıl içerisinde değişiklik göstereceğinden ötürü, tesisin üretim ihtiyacı olan su ve atıksu miktarları da değişiklik arz etmektedir.

Prosesten kaynaklı oluşan atıksuların bir kısmı (soğutma suları ve meyve yıkama suları) geri kazanım yolu ile tekrar kullanılmaktadır. Geri kazanımı ve değerlendirilmesi mümkün olmayan diğer proses atıksuları ise tesis içerisinde mevcut bağlantılar ile mevcut biyolojik AAT'ne gönderilerek arıtılmaları sağlanmaktadır. Tesiste açığa çıkan atıksu miktarı ve deşarj edildiği ortam Çizelge 4.4'de (Dimes A.Ş., 2007) verilmiştir.

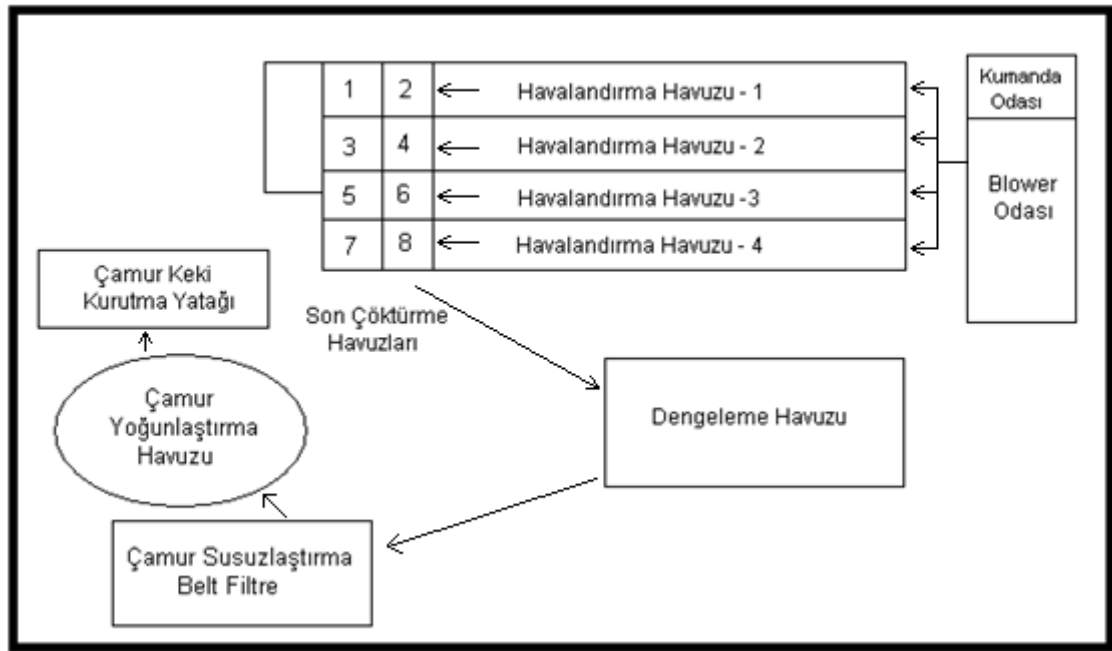
Çizelge 4.4 Tesiste açığa çıkan atıksu miktarı ve deşarj edileceği ortam

Kullanım Amacı	Miktarı (m³/gün)	Deşarj Edileceği Ortam
Çalışan Personelden Kaynaklanan Evsel Atıksu	18	AAT
Meyve Yıkama Suyu	250	Geri Kazanım
Meyve Yıkama Suyu	25	AAT
Isıtma-Soğutma Suyu	100	Geri Kazanım
Alan Temizlik Suyu	30	AAT
TOPLAM	423	

Faaliyet alanında bulunan biyolojik AAT dört ana bölümden oluşmaktadır.

- ✓ Nötralizasyon Sistemi
- ✓ Biyolojik Arıtma Tesisi
- ✓ Klorlama Sistemi
- ✓ Çamur Susuzlaştırma Ünitesi

Dimes meyve suyu sanayi paket arıtma tesisi şeması Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 Meyve suyu sanayi paket arıtma tesisi

❖ Nötralizasyon Sistemi

Mikroorganizmaların çoğalabilmesi için atıksuyun nötral olması gerekmektedir. Yani pH değerinin 7 civarında olması gerekir. Fabrikadan kaynaklanan atıksularda kostik bulunduğu için pH değeri 10 civarında bulunmaktadır. Bu nedenle atıksuya sülfirik asit eklenerek, nötral hale getirilmesi gerekir. Nötralizasyon sistemi; nötralizasyon tankı (Şekil 4.11), karıştırıcı, pompa çukuru atıksu pompaları, seviye propları, asit pompası, pH elektrodu ve asit deposundan oluşmaktadır.



Şekil 4.11 Tokat AAT nötralizasyon tankı

❖ *Biyolojik Arıtma Tesisi*

Nötralizasyon tankından gelen atıksu, dağıtma kanalından geçerek havalandırma havuzlarına gelir. Biyolojik arıtma tesisi; havalandırma havuzları, çöktürme havuzları (Şekil 4.12), arıtılmış su savakları, çamur geri dönüşümü için mamut pompalar ve blower (körük)'lerden oluşmaktadır. Sistem, 4 x 72 m³'lük havalandırma kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.12 Tokat AAT havalandırma ve çöktürme havuzları

❖ *Klorlama Sistemi*

Arıtma sisteminden çıkan atıksu, alıcı ortama deşarj edilmeden önce içindeki zararlı mikroorganizmaları öldürmek için klorlama sistemi gerçekleştirilir.

❖ *Çamur Susuzlaştırma Ünitesi*

Çamur susuzlaştırma ünitesi, atıksu arıtma tesisine sonradan eklenmiştir. Arıtma tesisinden çıkan çamurun kolayca uzaklaştırılabilmesi için sıvı halinden çıkıp katı hale dönmesi gerekir. Bu nedenle çamur, içerdiği su miktarının azaltılması için birtakım işlemlere tabi tutulması gerekmektedir.

Çökeltme havuzlarından gelen arıtma çamuru, pompalar yardımıyla belt filtre odasına gönderildikten sonra, susuzlaştırma işlemi başlar. Bu işlem esnasında kullanılacak olan kimyasallar, ünitenin içerisinde bulunan kimyasal hazırlama odasında hazırlandıktan sonra çamura eklenir. Susuzlaştırma işleminden sonra istenilen kuruluğa erişen çamur, belt filtrelerden kamyon yükleme odasındaki kamyonlara yüklenmekte (Şekil 4.13) ve Tokat Belediyesinin atık sahasına bertaraf edilmektedir.



Şekil 4.13 Tokat AAT çamur kekinin kamyonlara yüklenmesi

4.2 Hammaddelerin Özellikleri

Tesis yetkililerinden alınan bilgilere göre; Tokat AAT’nde 26.000 m³/gün su arıtılmakta ve Yeşilırmak Nehri’ne deşarj edilmektedir. Tesiste meydana gelen çamur miktarı ortalama 187,25 m³/gün’dür. Tesiste ortalama oluşan kuru katı madde miktarı ise 192,86 ton/gün’dür.

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT’nde çalışan personelden ve prosesten kaynaklı yaklaşık 600 m³/gün su kullanımı olmaktadır. Prosesten kaynaklı atıksuyun bir kısmı geri kazanım yolu ile tekrar kullanılmaktadır. Geri kazanımı ve değerlendirilmesi mümkün olmayan atıksular ise kentsel atıksu arıtım tesisi olan Tokat AAT’ne gönderilerek arıtılmaları sağlanmaktadır.

Her iki tesisin arıtma çamurundan alınan örneklerin laboratuvar ortamında nem, kül, katı madde miktarı ve UM miktarları aşağıda Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Arıtma çamuru örnekleri analiz sonuçları

	Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru	Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru	Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru (tesis verileri)
% Katı içeriği*	14,72	5,08	3,25	5,15
% Nem içeriği*	85,28	94,92	96,75	94,85
% Kül içeriği**	34,37	33,00	51,00	31,00
% Uçucu Madde**	65,63	67,00	49,00	69,00

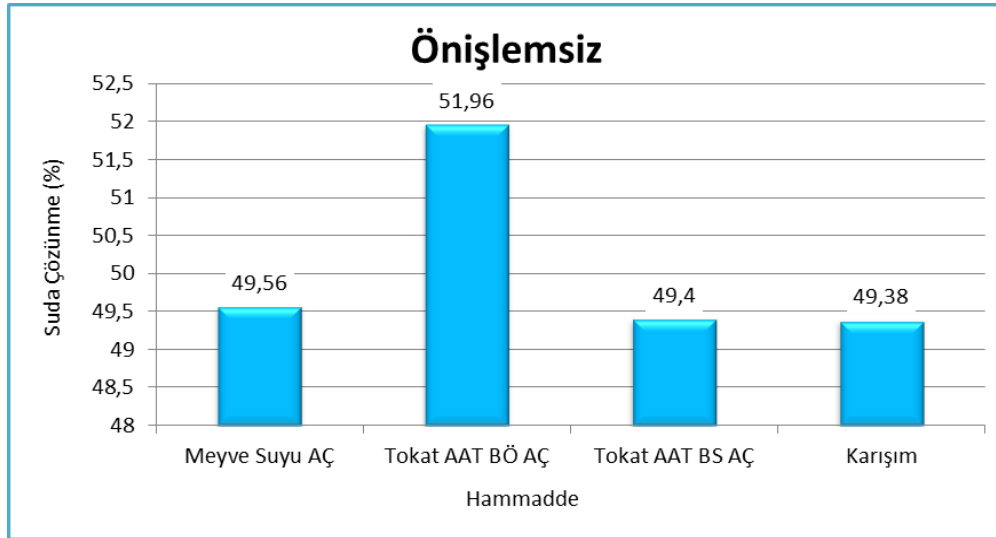
*Orijinal numunedeki

**Kuru katıdaki

4.3 Ön işlemsiz ve Ön işlemlili Numunelerde Suda Çözünme Bulguları

4.3.1. Ön işlemsiz numunelerde suda çözünme bulguları

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru ve % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımlarının ön işlemsiz suda çözünürlükleri Şekil 4.14’de verilmiştir.



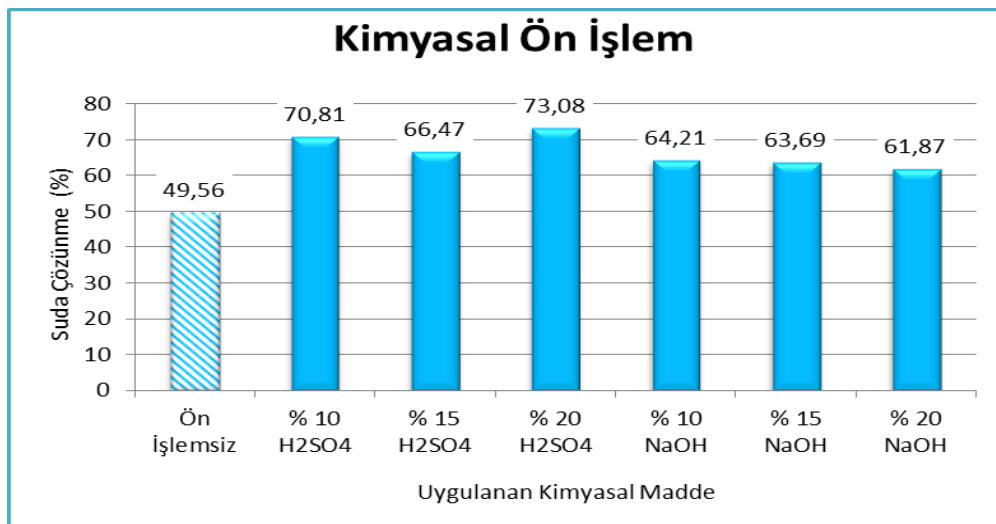
Şekil 4.14 Ön işlemsiz (Oda sıcaklığında bekletilmiş) numunelerin suda çözünürlükleri

Ön işlemsiz numuneler karşılaştırıldığında; en yüksek suda çözünme Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurunda (% 51,96) bulunmuştur.

4.3.2 Kimyasal Ön İşlemler

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazına Asit ve Baz Eklenerek Uygulanan Kimyasal Ön İşlemlerin Etkileri

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına % 10, % 15 ve % 20 oranlarında H_2SO_4 veya NaOH ilavesi ile yapılan ön işlemler sonucu, saptanan sudaki çözünürlükler Şekil 4.15’de verilmiştir.



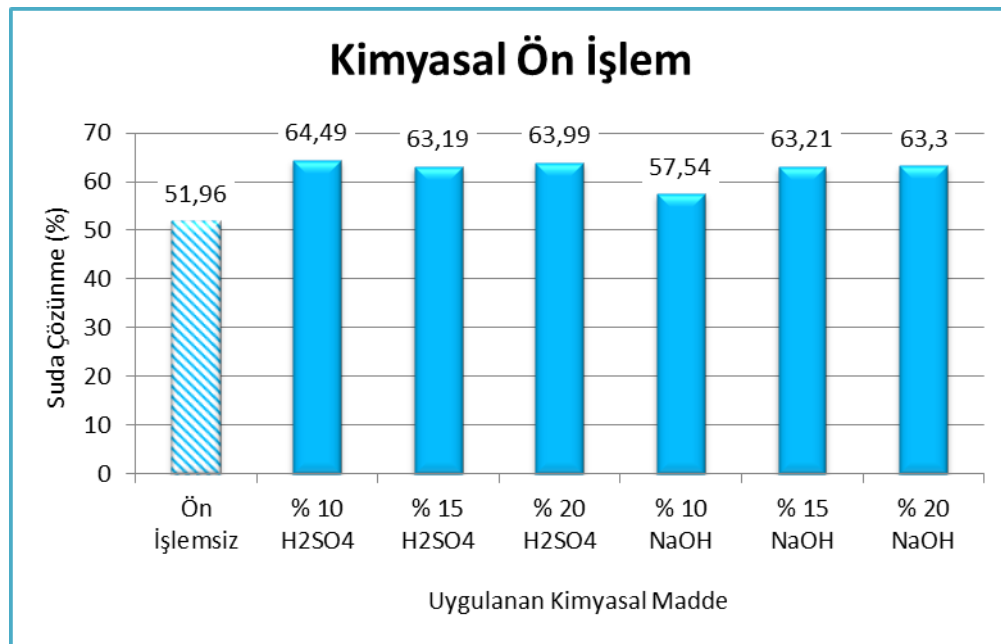
Şekil 4.15 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal ön işlem sonucu suda çözünürlükler

Uygulanan kimyasal ön işlemler sonucunda; en yüksek suda çözünme, katının % 20'si kadar H_2SO_4 ilave edildiğinde % 73,08 bulunmuştur. Kimyasal ön işlemlerde hammaddeye asit ve baz ilavesi; arıtma çamurunda bulunan bazı bileşikler hidrolize uğratarak suda çözünmeyi hızlandırmıştır.

Kimyasal madde olarak hammaddeye asit ilavesinde suda çözünme baz ilavesi ile bulunan değerlerden daha yüksektir. Bu da Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamurunda kimyasal ön işlemlerde asidik ön işlemin, bazik ön işlemden daha fazla suda çözünmeyi artırdığı anlamına gelmektedir. Öte yandan bazik kimyasal madde ön işlemlerinde artan bazik maddeye karşı suda çözünme değerlerinde azalmalar görülmüştür. Kimyasal ön işlemlerde NaOH ile yapılan ön işlemlerde; katının % 10'u kadar NaOH kullanıldığında en fazla sudaki çözünürlük % 64,21 olarak bulunmuştur.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazına Asit ve Baz Eklenerek Uygulanan Kimyasal Ön İşlemlerin Etkileri

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına % 10, % 15 ve % 20 H_2SO_4 veya NaOH ilavesi ile yapılan kimyasal ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.16'da verilmiştir.

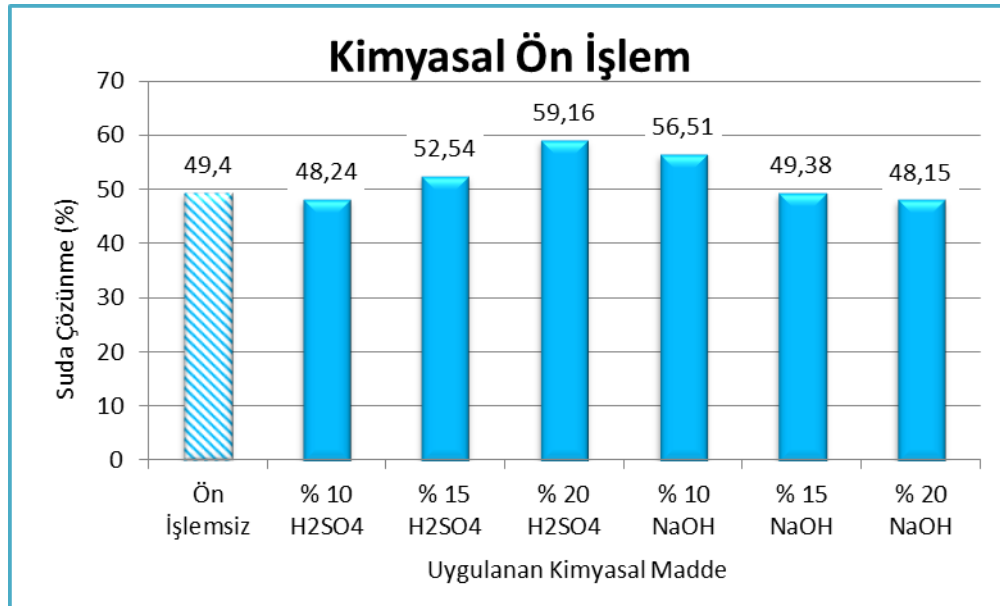


Şekil 4.16 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal ön işlem sonucu suda çözünürlük

Uygulanan kimyasal ön işlem sonucunda; katının % 10'u kadar H_2SO_4 eklenerek yapılan ön işlemin uygulanmasıyla en yüksek suda çözünme (% 64,49) elde edilmiştir. Bazik ön işlemlerde ise; en yüksek suda çözünme, % 63,3 değeriyle % 20 NaOH eklenen ön işlemde elde edilmiştir. Asidik kimyasal ön işlemlerde, bazik kimyasal ön işlemlerden daha fazla suda çözünme değerleri elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazına Asit ve Baz Eklenerek Uygulanan Kimyasal Ön İşlemlerin Etkileri

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına % 10, % 15 ve % 20 H_2SO_4 veya NaOH ilavesi ile yapılan kimyasal ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.17'de verilmiştir.

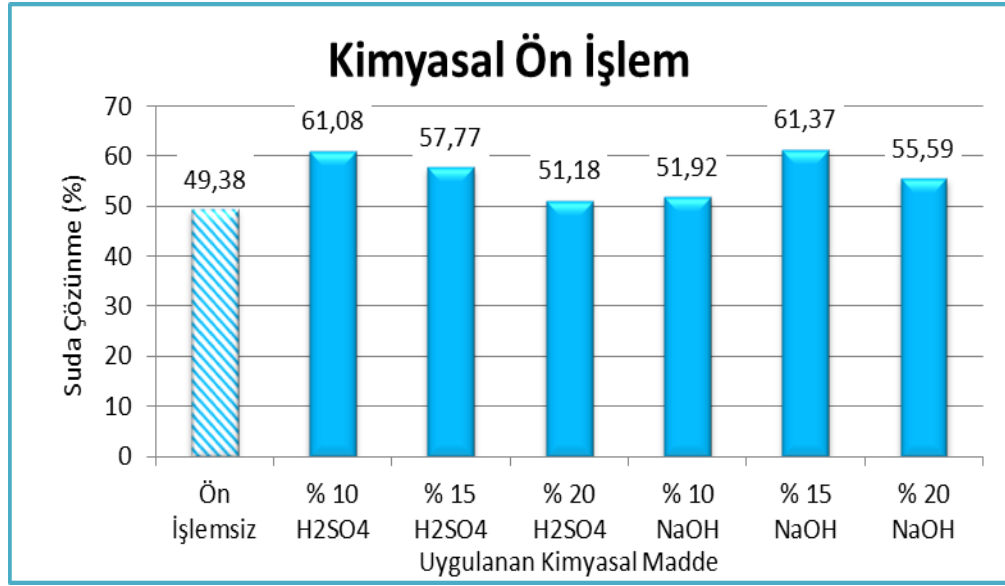


Şekil 4.17 Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal ön işlem sonucu suda çözünürlük

Uygulanan kimyasal ön işlemler sonucunda; katının % 20'si kadar H_2SO_4 ilavesiyle yapılan ön işlemde en yüksek suda çözünürlük (% 59,16) elde edilmiştir. Bazik kimyasal ön işlemlerde en yüksek suda çözünme % 56,51 değeriyle % 10 NaOH ilave edilen ön işlemde elde edilmiştir. Suda çözünme yüzdesi asit ilavesi arttıkça artarken, baz ilavesi arttıkça azalmıştır. Genel olarak asidik ön işlemlerde elde edilen suda çözünme değerleri, bazik ön işlemlerden fazla bulunmuştur.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımının Sulu Fazına Asit ve Baz Eklenecek Uygulanan Kimyasal Ön İşlemlerin Etkileri

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımlarının sulu fazına katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 ve NaOH ilavesi ile yapılan kimyasal ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.18'de verilmiştir.



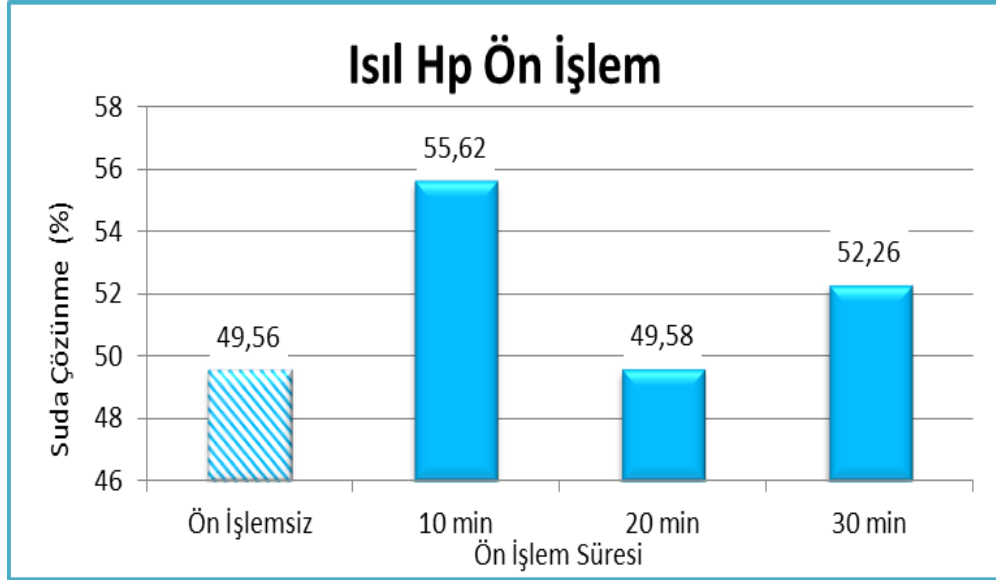
Şekil 4.18 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan kimyasal ön işlem sonucu suda çözünürlük

Uygulanan kimyasal ön işlemler sonucunda; en yüksek suda çözünme % 15 NaOH ilavesiyle gerçekleştirilen ön işlemde % 61,37 değeriyle elde edilmiştir. Asidik ön işlemlerde ise, en yüksek suda çözünme % 61,08 değeriyle, % 10 H_2SO_4 ilavesiyle yapılan ön işlemde elde edilmiştir.

4.3.3 Isıl HP Ön İşlem

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazına Uygulanan Isıl HP Ön İşlemlerin Etkileri

Arıtma çamuruna uygulanan ısı HP ön işlemler sonucu, saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.19’da verilmiştir.



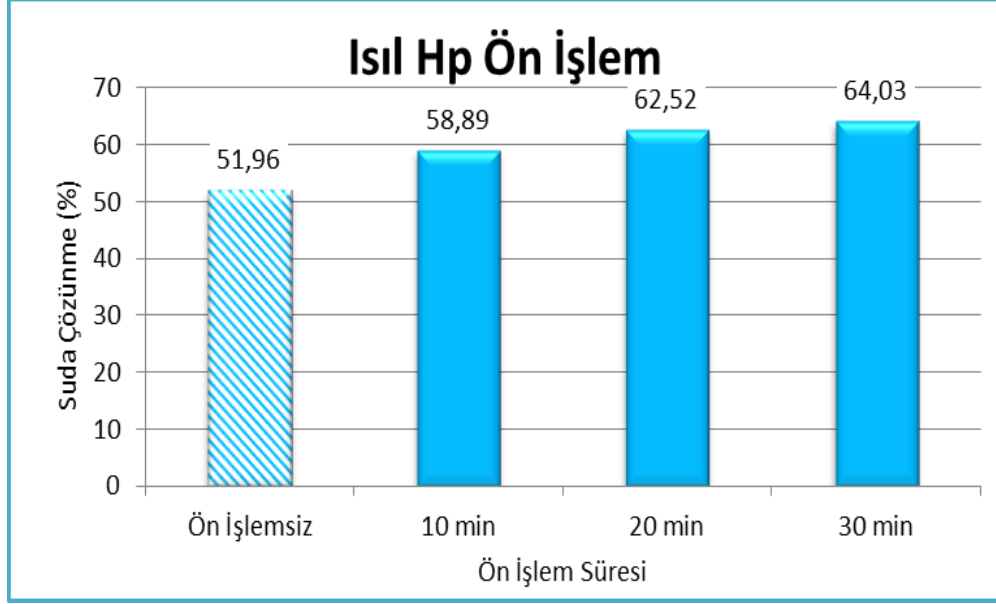
Şekil 4.19 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Isıl HP ön işlemlerin hepsinde de ön işlemlerle suda çözünme yüzdeleri artmıştır. En yüksek suda çözünme değeri, 10 min ısı HP ön işlemde elde edilmiştir.

Arıtma çamurlarının biyolojik parçalanma verimliliklerini artırmak için ısı, kimyasal, kimyasal-ısı işlemlerin çamurun flok yapısını bozarak çözünürlüğünü artırdığı, uygulanan işlemlerin buna bağlı olarak biyolojik parçalama hızını ve verimliliğini artırdığı kaynak bilgilerinden görülmektedir (Genç, 2008).

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazına Uygulanan Isıl HP Ön İşlemlerin Etkileri

Arıtma çamuruna uygulanan ısı HP ön işlemler sonucu, saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.20’de verilmiştir.

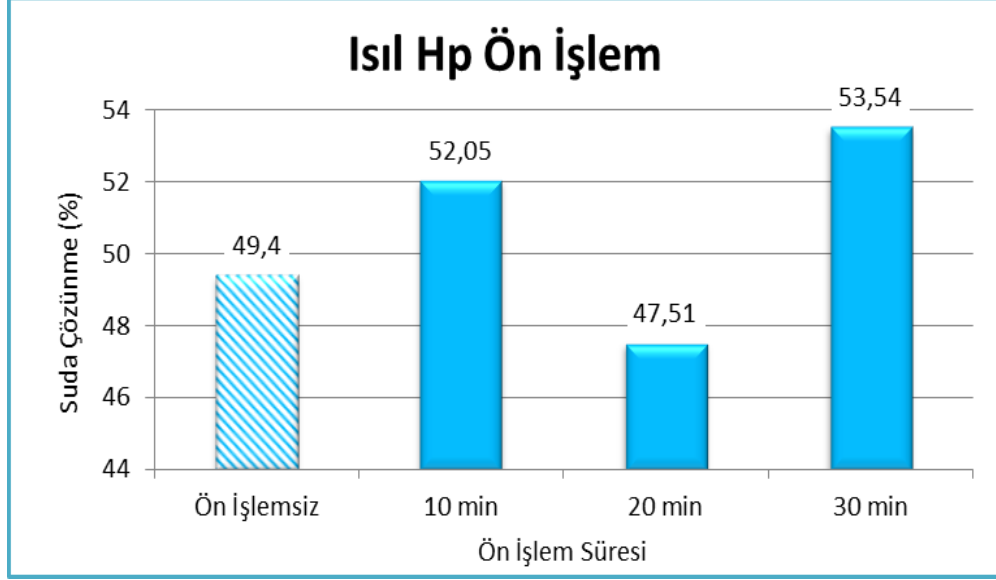


Şekil 4.20 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan 10, 20 ve 30 min ısı HP ön işlemlerde, artan ısı ön işlem sürelerine göre suda çözünmeler artmaktadır. En yüksek suda çözünme değeri (% 64,03) ise; 30 min ısı HP ön işlemde elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazına Uygulanan Isıl HP Ön İşlemlerin Etkileri

Arıtma çamuruna uygulanan ısıl HP ön işlemler sonucu, saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.21’de verilmiştir.

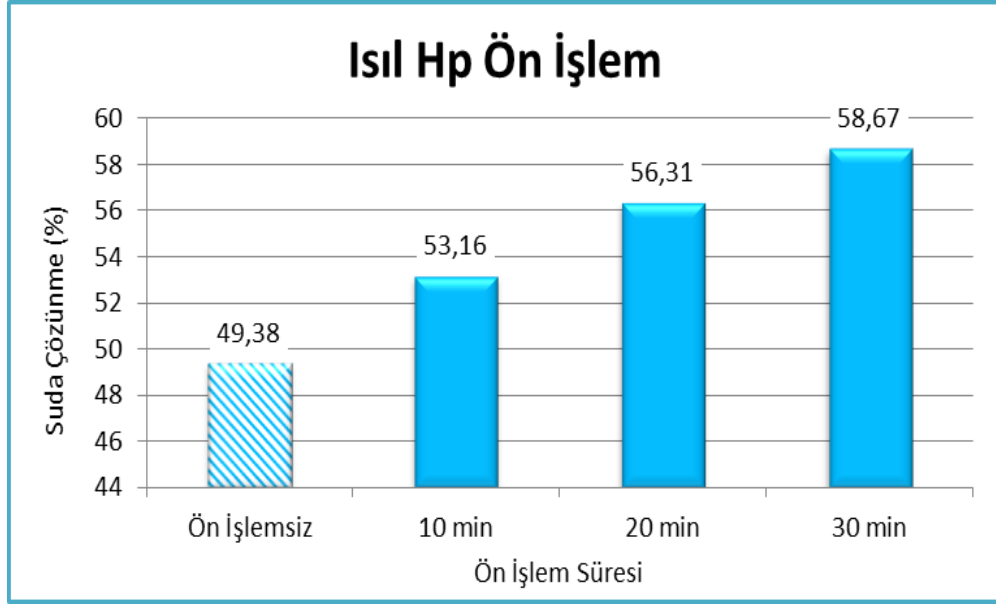


Şekil 4.21 Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısıl HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısıl HP ön işlem sonucunda en yüksek suda çözünme değeri (% 53,54) 30 min işlem süresinde elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımlarının Sulu Fazına Uygulanan Isıl HP Ön İşlemlerin Etkileri

Arıtma çamuruna uygulanan ısıl HP ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.22’de verilmiştir.



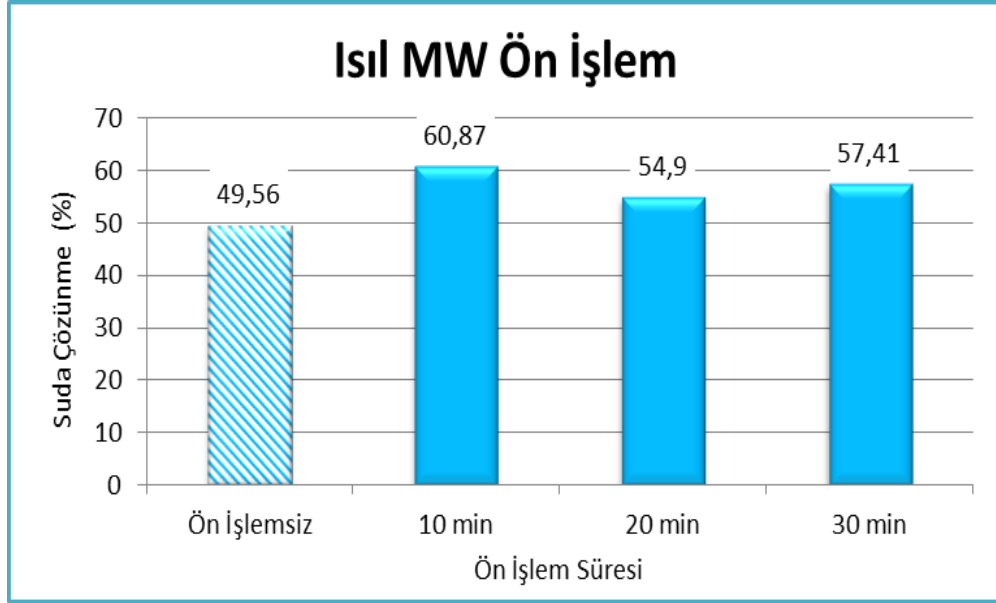
Şekil 4.22 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan ısıl HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan ısıl HP ön işlem sonucunda; artan ön işlem sürelerinde suda çözünme artmıştır. En yüksek suda çözünme (% 58,67) 30 min ısıl HP ön işlemde alınmıştır.

4.3.4 Isıl MW Ön İşlem

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazına Uygulanan Isıl MW Ön İşlemlerin Etkileri

Arıtma çamuruna uygulanan ısıl MW ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.23’de verilmiştir.

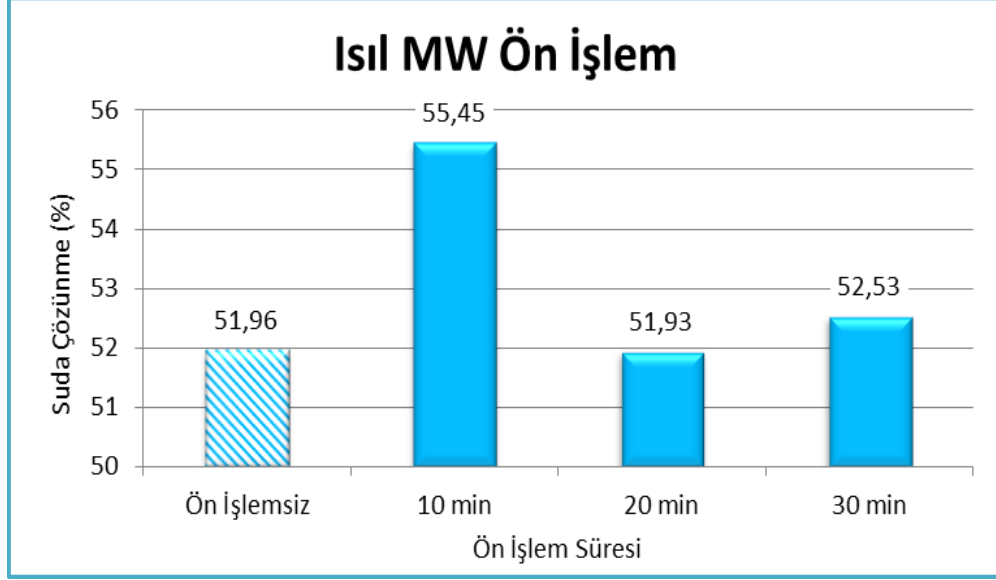


Şekil 4.23 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısıl MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısıl MW ön işlemlerde suda çözünmelerin arttığı görülmüştür. En yüksek suda çözünme (% 60,87) değeriyle 10 min ısıl MW ön işlemde alınmıştır.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazına Uygulanan Isıl MW Ön İşlemlerin Etkileri

Arıtma çamuruna uygulanan ısıl MW ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.24’de verilmiştir.

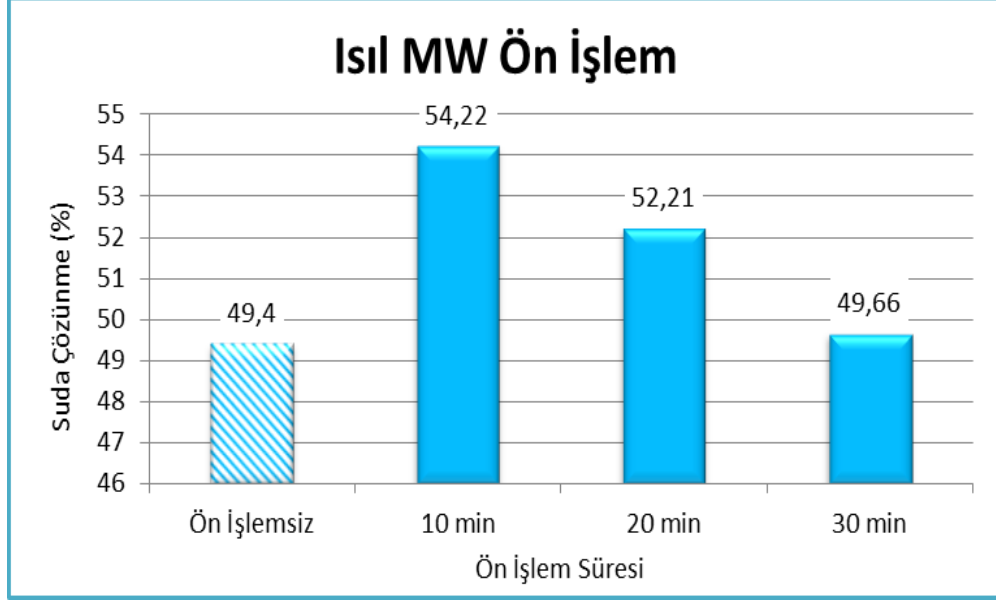


Şekil 4.24 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısıl MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu karışımına uygulanan ön işlemlerde en yüksek suda çözünme yüzdesi (% 55,45) 10 min ısıl MW ön işlemde elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazına Uygulanan Isıl MW Ön İşlemlerin Etkileri

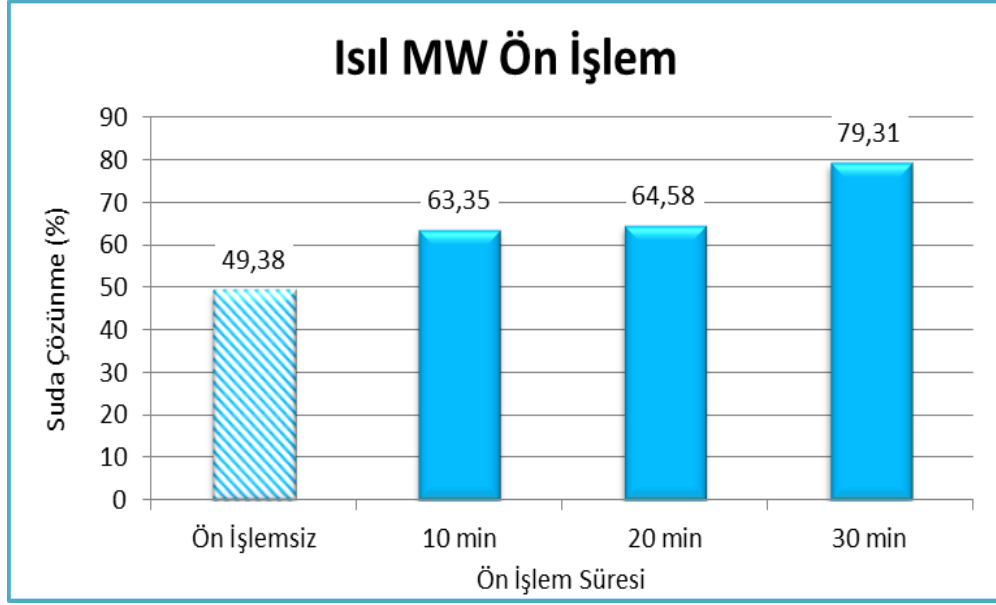
Arıtma çamuruna uygulanan ısıl MW ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25 Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısıl MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan ısıl MW ön işlemlerde en yüksek suda çözünme (% 54,22) değeriyle 10 min ısıl MW ön işlemlerde elde edilmiştir. Ön işlem süresi arttığında suda çözünme yüzdeleri azalmaktadır.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımının Sulu Fazına Uygulanan Isıl MW Ön İşlemlerin Etkileri
Arıtma çamuruna uygulanan ısıl MW ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.26’da verilmiştir.



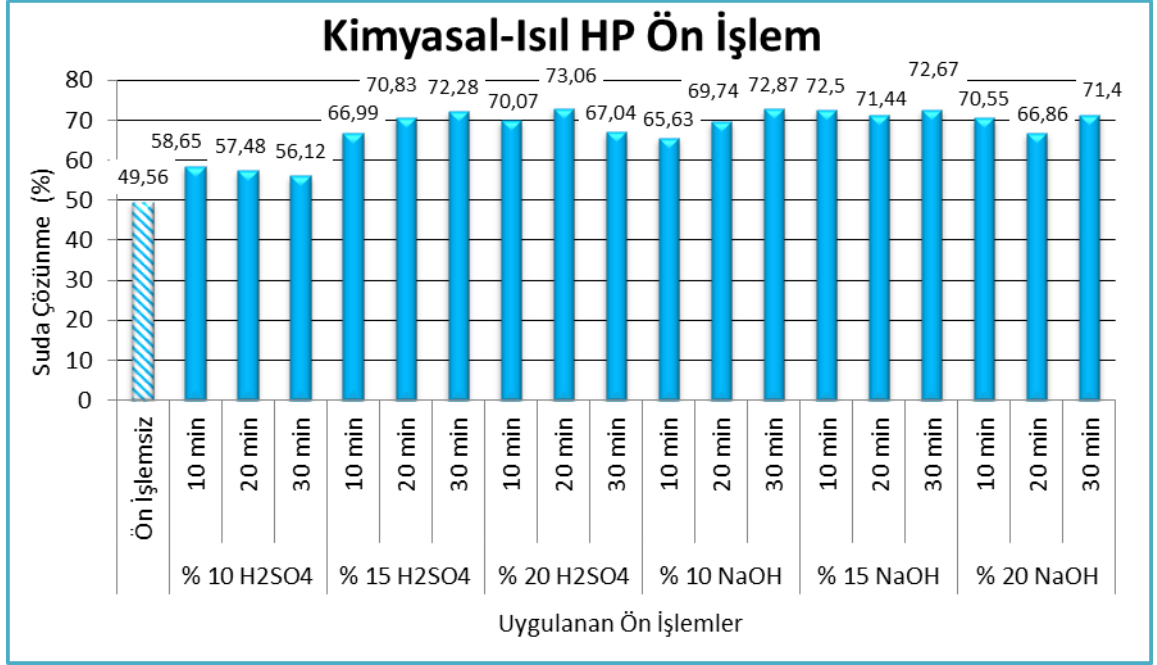
Şekil 4.26 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu sanayi AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan ısıl MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımlarına uygulanan ısıl MW ön işlemlerde artan ön işlem sürelerinde suda çözünme yüzdelerinin arttığı ve en yüksek suda çözünmenin de (% 79,31), 30 min ısıl MW ön işlemde alındığı görülmüştür.

4.3.5 Kimyasal-Isıl HP Ön İşlem

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazına Değişik Sürelerde Asidik ve Bazik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl HP Ön İşlemlerin Etkileri

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 veya NaOH ilave edilerek 10, 20 ve 30 min süre ile yapılan ısıl HP ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.27'de verilmiştir.



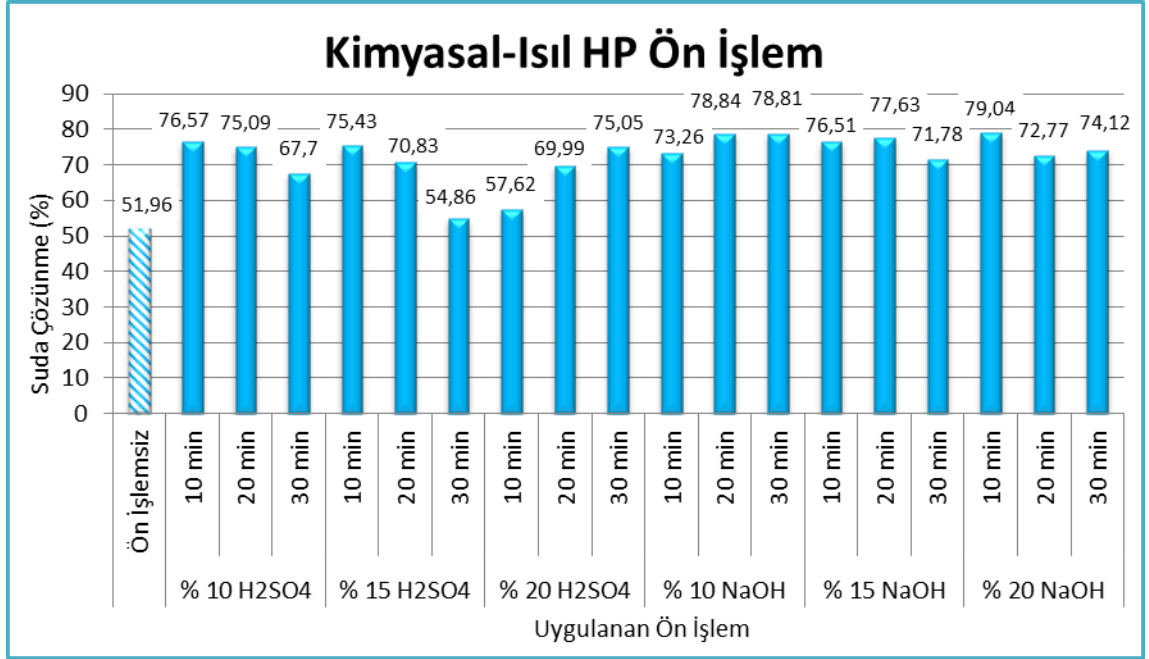
Şekil 4.27 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucunda, elde edilen suda çözünme yüzdeleri ön işlemsiz numuneden elde edilen değerden daha yüksektir. En yüksek suda çözünme (% 73,06); katının % 20'si kadar H_2SO_4 eklenerek, 20 min süre ile yapılan ısı HP ön işlemin uygulanmasıyla elde edilmiştir.

Bazik kimyasal ön işlemlerde % 72,87 değeriyle, % 10 NaOH eklenerek, 30 min süre ile yapılan ısı HP ön işlemin uygulanması sonucunda elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazına Değişik Sürelerde Asidik ve Bazik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl HP Ön İşlemlerin Etkileri

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 ve NaOH ilave edilerek 10, 20 ve 30 min süre ile yapılan ısıl HP ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.28'de verilmiştir.

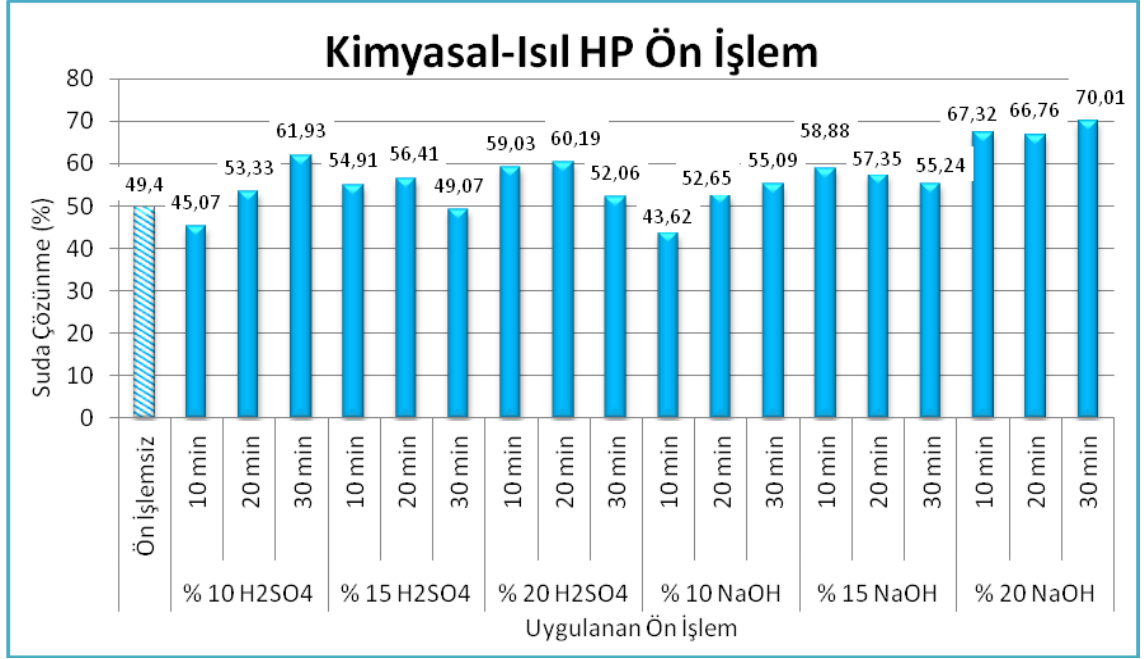


Şekil 4.28 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısıl HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısıl HP ön işlemler sonucunda en yüksek suda çözünme yüzdesi; % 79,04 değeriyle, % 20 NaOH eklenerek 10 min süre ile yapılan ısıl HP ön işlemin uygulanmasıyla elde edilmiştir. Asidik kimyasal ve ısıl HP ön işlemlerde ise, en yüksek suda çözünme yüzdesi (% 76,57); katının % 10'u kadar H_2SO_4 eklenerek, 10 min süre ile yapılan ısıl HP ön işlemin uygulanmasıyla elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazına Değişik Sürelerde Asidik ve Bazik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl HP Ön İşlemlerin Etkileri

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 ve NaOH ilave edilerek 10, 20 ve 30 min süre ile yapılan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.29'da verilmiştir.

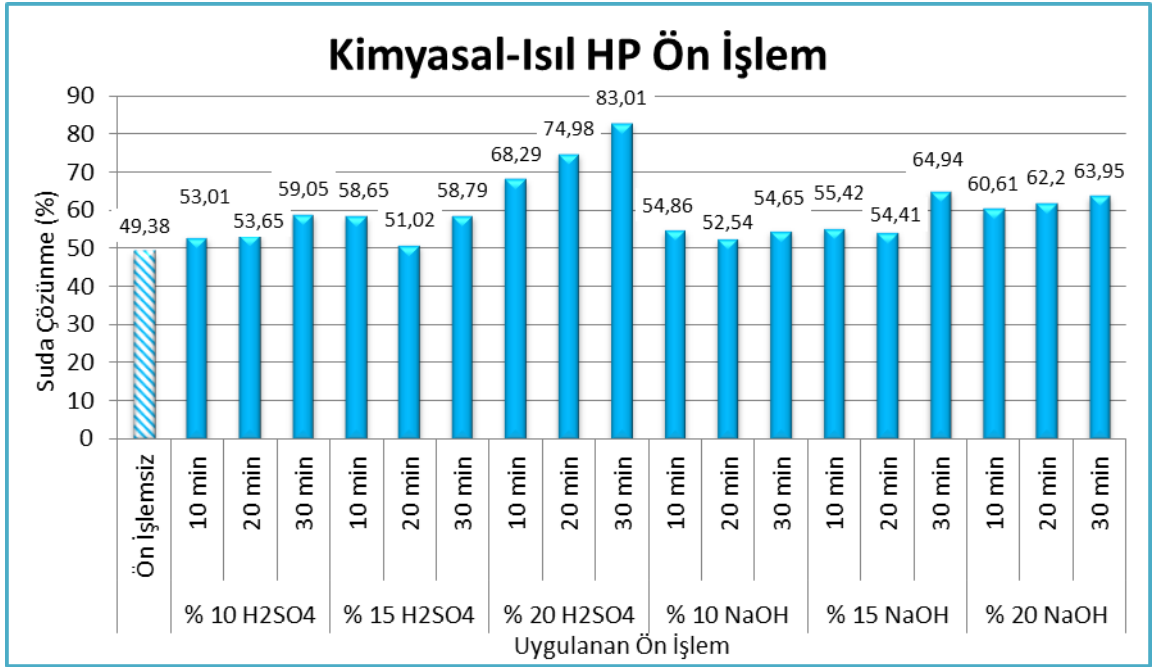


Şekil 4.29 Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucunda en yüksek suda çözünme yüzdesi; % 70,01 değeriyle, % 20 NaOH eklenerek, 30 min süre ile yapılan ısı HP ön işlemin ardından elde edilmiştir. Asidik kimyasal ve ısı HP ön işleminde elde edilen en yüksek suda çözünme değeri ise (% 61,93), katının % 10'u kadar H_2SO_4 eklenerek, 30 min süre ile yapılan ısı HP ön işlemin sonucunda elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımının Sulu Fazına Değişik Sürelerde Asidik ve Bazik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl HP Ön İşlemlerin Etkileri

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 ve NaOH ilave edilerek 10, 20 ve 30 min süre ile yapılan ısıl HP ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucu suda çözünürlük

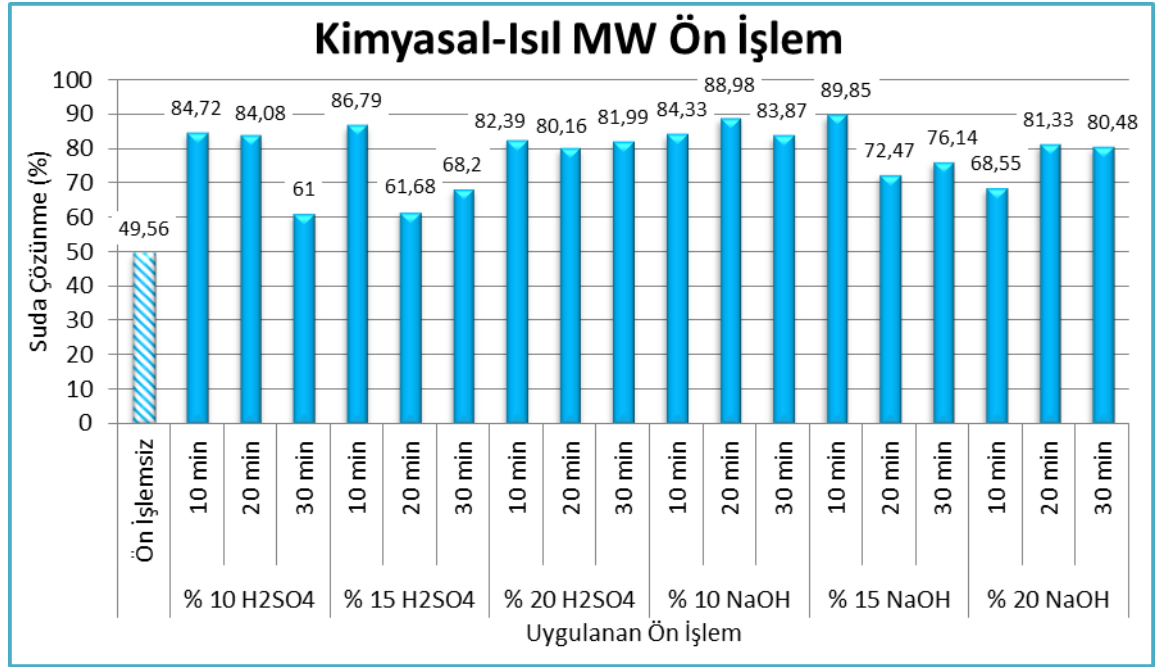
Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı HP ön işlemler sonucunda en yüksek suda çözünme yüzdesi (% 83,01), katının % 20'si kadar H_2SO_4 eklenerek, 30 min süre ile yapılan ısı HP ön işlemin uygulanmasıyla elde edilmiştir.

Bazik kimyasal ve ısı HP ön işlem sonucunda elde edilen en yüksek suda çözünme (% 64,94), % 15 NaOH eklenerek, 30 min süre ile yapılan ısı HP ön işlemin uygulanmasıyla bulunmuştur.

4.3.6 Kimyasal-Isıl MW Ön İşlem

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazına Asidik ve Bazik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl MW Ön İşlemlerin Etkileri

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 ve NaOH ilave edilerek 10, 20 ve 30 min süre ile yapılan ısıl MW ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.31'de verilmiştir.



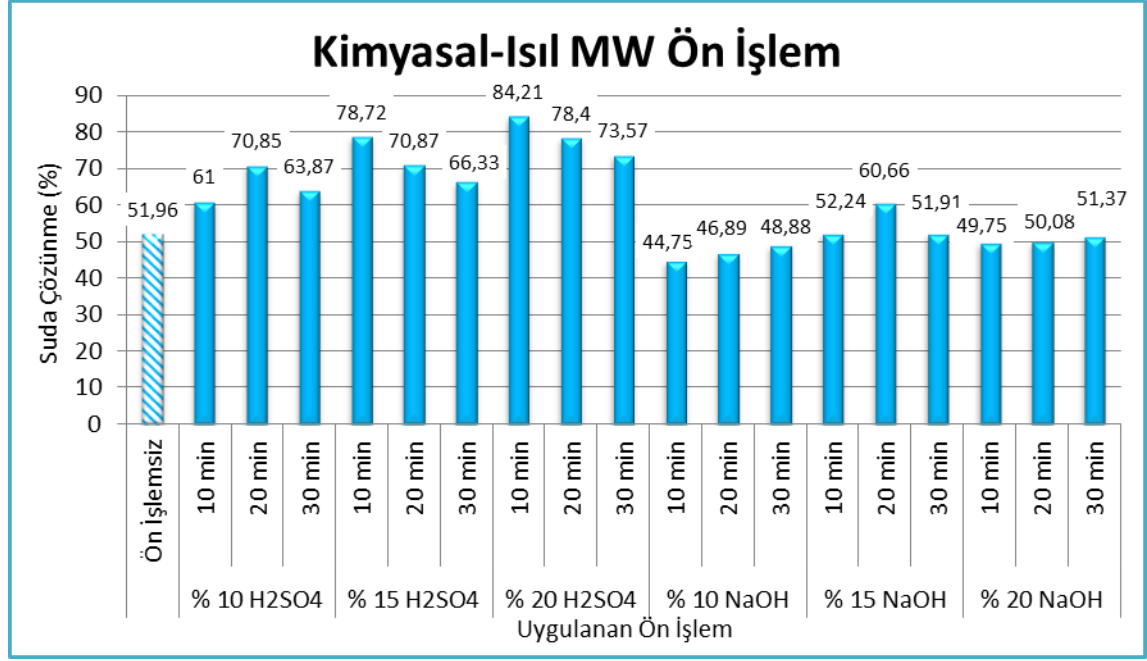
Şekil 4.31 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısı MW ön işlemler sonucunda en yüksek suda çözünme değeri (% 89,85), % 15 NaOH eklenerek, 10 min süre ile yapılan ısı MW ön işlemin uygulanmasıyla elde edilmiştir. Tüm kimyasal ve ısı MW ön işlemlerde elde edilen suda çözünme değerleri ön işlemsiz numunedekinden daha fazla bulunmuştur.

Asidik kimyasal ve ısı MW ön işlemlerde en yüksek suda çözünme değeri de (% 86,79), katının % 15'i kadar H_2SO_4 eklenerek, 10 min süre ile yapılan ısı MW ön işlemin ardından elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazına Asidik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl MW Ön İşlemlerin Etkileri

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru karışımının sulu fazına katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 ve NaOH ilave edilerek 10, 20 ve 30 min süre ile yapılan ısııl MW ön işlemleri sonucunda katı maddenin % suda çözünürlüğü Şekil 4.32'de görülmektedir.



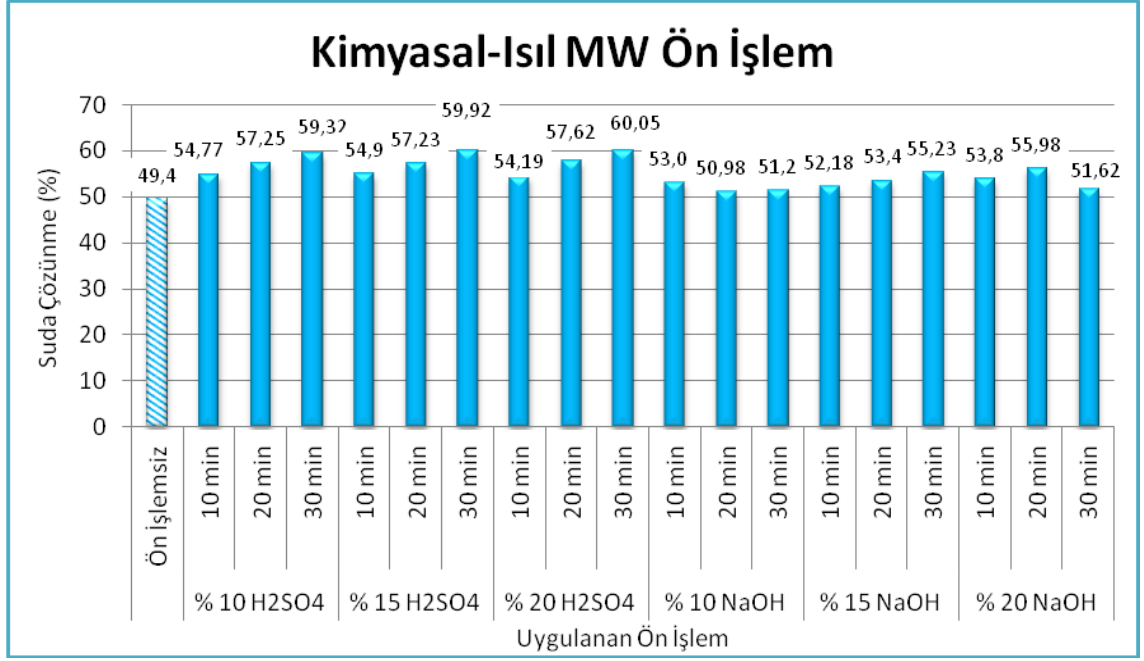
Şekil 4.32 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısııl MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısııl MW ön işlemler sonucunda; katının % 20'si kadar H_2SO_4 eklenerek, 10 min süre ile yapılan ısııl MW ön işlemin uygulanmasıyla en yüksek suda çözünme (% 84,21) elde edilmiştir.

Bazik kimyasal ve ısııl MW ön işlemlerde elde edilen en yüksek suda çözünme ise % 60,66 değeriyle % 15 NaOH eklenerek, 20 min süre ile yapılan ısııl MW ön işleminde elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazına Asidik ve Bazik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl MW Ön İşlemlerin Etkileri

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru karışımının sulu fazına katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 ve NaOH ilave edilerek 10, 20 ve 30 min süre ile yapılan ısıl MW ön işlemler sonucu saptanan sudaki çözünürlük bulguları Şekil 4.33'de verilmiştir.



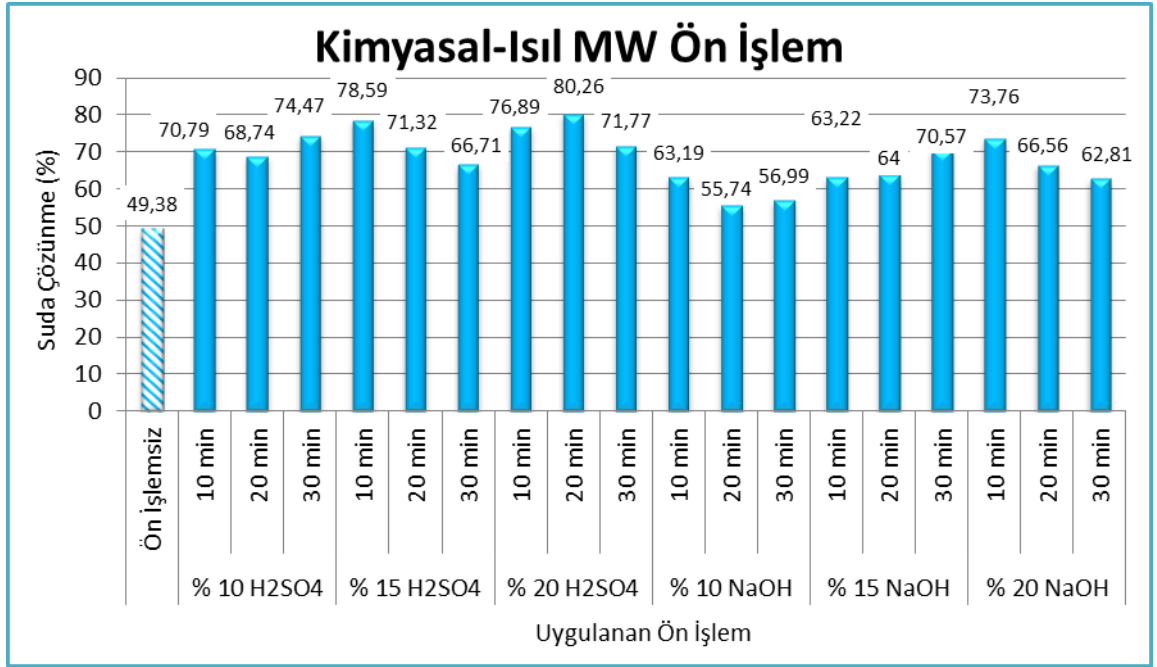
Şekil 4.33 Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısıllı MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısıllı MW ön işlemler sonucunda, en yüksek suda çözünme; katının % 20'si kadar H_2SO_4 eklenerek, 30 min süre ile yapılan ısıllı MW ön işlemin uygulanmasıyla elde edilmiştir.

Bazik kimyasal ve ısıllı MW ön işlemde en yüksek suda çözünme ise; % 55,98 değeriyle % 20 NaOH eklenerek, 20 min süre ile yapılan ısıllı MW ön işlem sonucunda elde edilmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazına Asidik Ortamda Uygulanan Kimyasal-Isıl MW Ön İşlemlerin Etkileri

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ve Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar H_2SO_4 ve NaOH ilave edilerek 10, 20 ve 30 min süre ile yapılan ısııl MW ön işlemler sonucunda katı maddenin % suda çözünürlüğü Şekil 4.34'de görülmektedir.



Şekil 4.34 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazına uygulanan kimyasal-ısııl MW ön işlemler sonucu suda çözünürlük

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazına uygulanan kimyasal-ısııl MW ön işlemler sonucunda, en yüksek suda çözünme; katının % 20'si kadar H_2SO_4 eklenerek, 20 min süre ile yapılan ısııl MW ön işlemin uygulanması sonucunda elde edilmiş ve % 80,26 suda çözünme bulunmuştur.

Bazik kimyasal ilaveli ısııl MW ön işlemlerden en yüksek suda çözünme ise; % 73,76 değeriyle % 20 NaOH eklenerek, 10 min süre ile yapılan ısııl MW ön işlemin neticesinde bulunmuştur.

4.4. Ön işlemsiz ve Ön işlem Uygulanmış Hammaddelerde Suda Çözünmeler

Genel Değerlendirme

4 ayrı hammadde için, ön işlemsiz ve ön işlem uygulanmış hammaddelerin suda çözünme yüzdeleri aşağıda Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Hammaddelerin ön işlemsiz ve ön işlemli olarak yüzde suda çözünme değerleri

	Ön İşlem Adı	Suda Çözünme (%)
Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	49,56
	Kimyasal (%20 H ₂ SO ₄)	73,08
	Isıl HP (10 min)	55,62
	Isıl MW (10 min)	60,87
	Kimyasal-Isıl HP (%20 H ₂ SO ₄ , 20 min)	73,06
	Kimyasal-Isıl MW (%15 NaOH, 10 min)	89,85
Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	51,96
	Kimyasal (%10 H ₂ SO ₄)	64,49
	Isıl HP (30 min)	64,03
	Isıl MW (10 min)	55,45
	Kimyasal-Isıl HP (%20 NaOH, 10 min)	79,04
	Kimyasal-Isıl MW (%20 H ₂ SO ₄ , 10 min)	84,21
Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	49,40
	Kimyasal (%20 H ₂ SO ₄)	59,16
	Isıl HP (30 min)	53,54
	Isıl MW (10 min)	54,22
	Kimyasal-Isıl HP (%20 NaOH, 30 min)	70,01
	Kimyasal-Isıl MW (%20 H ₂ SO ₄ , 30 min)	60,05
% 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı	Ön İşlemsiz	49,38
	Kimyasal (%15 NaOH)	61,37
	Isıl HP (30 min)	58,67
	Isıl MW (30 min)	79,31
	Kimyasal-Isıl HP (%20 H ₂ SO ₄ , 30 min)	83,01
	Kimyasal-Isıl MW (%20 H ₂ SO ₄ , 20 min)	80,26

Çizelge 4.6'da Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuruna uygulanan kimyasal-ısı MW ön işleminde katı maddenin kütlege % 15'i kadar NaOH kullanıldığında ve 10 min pişirme işleminde en yüksek suda çözünürlüğün (**% 89,85**) sağlandığı görülmektedir. Bu değer sadece Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamurunun değil tüm çamur örnekleri ve tüm ön işlemlerde elde edilen suda çözünme değerlerinin en yükseğidir.

Ön işlemsiz ve en yüksek suda çözünmelerin elde edildiği ön işlemlerdeki sulu fazlar anaerobik biyolojik işlemler için seçilmiştir.

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru için, en yüksek suda çözünürlük, kimyasal-ısı MW ön işleminde yani katı maddenin kütlege % 20'si kadar H_2SO_4 kullanıldığında ve 10 min ısı MW ön işlem koşulunda % 84,21 suda çözünme değeriyle elde edilmiştir.

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru için, en yüksek suda çözünürlüğün sağlandığı ön işlem koşulu, katı maddenin kütlege % 20'si kadar NaOH'in kullanıldığı, 30 min ısı HP ön işlemidir. Bu ön işlem koşulunda elde edilen suda çözünme % 70,01'dir.

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımları için, en yüksek suda çözünürlüğün sağlandığı sulu fazların üretildiği ön işlemler katı maddenin kütlege % 20'si kadar H_2SO_4 kullanıldığında ve 30 min pişirme işleminde, % 83,01 olarak bulunmuştur.

Yapılan tüm kimyasal (asit/baz ilavesi), ısı (HP/MW) ve kimyasal (asit/baz) + ısı (HP/MW) ön işlemlerde; ön işlemsiz numunelerle karşılaştırıldığında; katı maddenin suda çözünmesini artırdığı yönünde sonuçlar Çizelge 4.6'dan da açıkça görülmektedir.

Nitekim, Genç (2008) de yapmış olduğu çalışmada, arıtma çamurlarının biyolojik parçalanma verimliliklerini artırmak için ısı, kimyasal, kimyasal-ısı işlemlerin çamurun flok yapısını bozarak, çözünürlüğünü artırdığı, uygulanan işlemlerin buna bağlı olarak biyolojik parçalama hızını ve verimliliğini artırdığı sonucunu bulmuştur. Benzer şekilde, Halisdemir (2009), Mersin Üniversitesi'nde yapmış olduğu doktora çalışmasında; evsel atıksuların arıtılmasıyla üretilen biyolojik arıtma çamuru (aktif çamur) ve meyve suyu üretim işletmelerinden çıkan portakal posasını hammadde olarak kullanarak, yapmış olduğu asidik, bazik ve ultrases ön işlemlerin suda çözünürlüğü ve biyogaz verimini artırdığı sonucunu bulmuştur. Ardıç ve Taner, (2004); yapmış olduğu

benzer bir çalışmada, tavuk gübresinin kütlece % 10'luk sulu karışımlarına, karışımdaki katı maddeye göre kütlece % 10, % 15 ve % 20'si oranında H₂SO₄ ekleyerek ve asit kullanmadan, oda sıcaklığında ve suyun normal kaynama sıcaklığında, bir ve iki saatlik sürelerde uygulamışlardır. Çalışma sonucunda tavuk gübresindeki katı maddenin sudaki çözünürlüğünün, asidik kimyasal ve asidik termokimyasal ön işlemler ile arttığı, sudaki maksimum çözünürlüğün, katı maddeye göre kütlece % 20 oranında H₂SO₄ eklenip, 2 saat termokimyasal ön işlem ile elde edildiği belirlenmiş ve sudaki çözünürlüğün kütlece % 40,93 olduğu saptanmıştır.

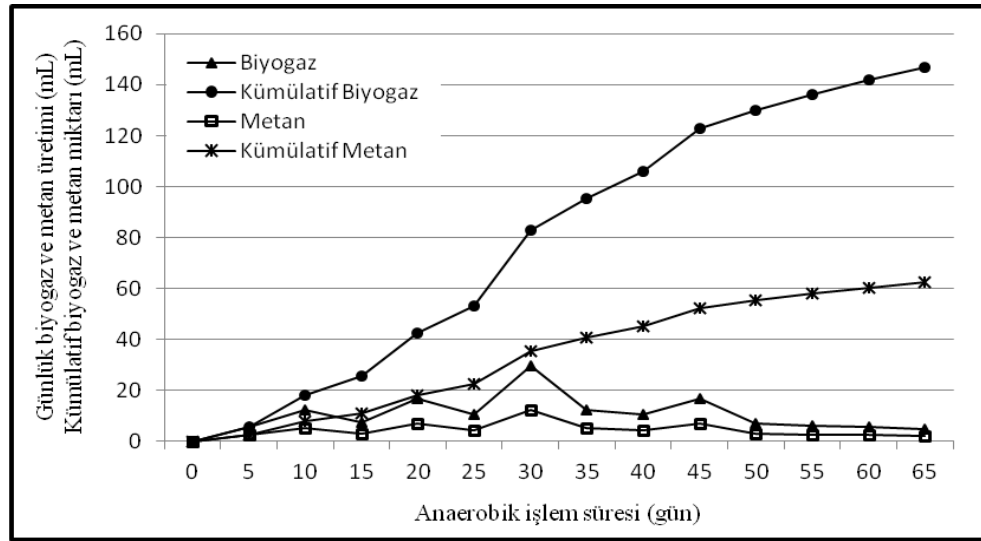
4.5 Ön işlemsiz ve Ön işlemlili Çamur Örneklerinden Elde Edilen Sulu Fazların Anaerobik İşleminde Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri

Şişelerin içerisindeki sulu fazların anaerobik parçalanması 65 gün sürmüştür. Bu 65 gün süresince 35 °C'de inkübatörde bekletilen numunelerin her beş günde bir biyogaz ve metan üretim miktarları ölçülmüştür. 65 günün sonlarına doğru biyogaz üretiminde azalma görüldüğünden, 65. günden sonra ölçüm yapılmamış ve çalışma sona erdirilmiştir. Örneklerin anaerobik süreçte zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarları ile ilgili bulgular ve tartışmalar aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir.

4.5.1. Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamurundaki Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi

Ön İşlemsiz Örneğinde Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

Ön işlem uygulanmamış, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına ait, günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.35'te görülmektedir.

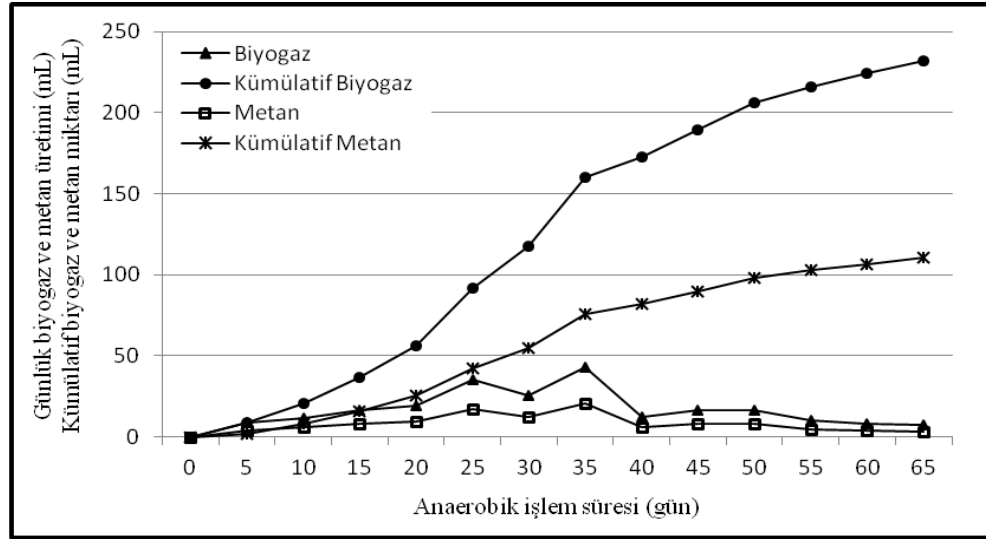


Şekil 4.35 Ön işlemsiz Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.35 incelendiğinde, mikroorganizmaların ortama alışma ve üreme sürecinden geçmesinden dolayı, biyogazın yaklaşık olarak ilk 5 günde fazla oluşmadığı görülmektedir. 30. günde en yüksek biyogaz üretim miktarı saptanmıştır. 30. günden sonra artık biyogaz üretiminde azalmalar başlamıştır. 65 gün sonunda biyogaz üretimi ve biyogaz üretim verimi sırasıyla; 146,7 mL ve 148,00 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Metan üretimi 65 gün sonunda 62,58 mL olup, metan üretim verimi ise 63,14 mL metan/ g suda çözünmüş KM'dir. Üretilen biyogazda bulunan metanın hacimsel olarak % 42,66 olduğu görülmektedir.

% 20'lik H₂SO₄ İlave Edilerek Kimyasal Ön İşlem Uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı kimyasal ön işlem koşulunda elde edilen, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına ait, günlük biyogaz ve metan üretim miktarları ve kümülatif biyogaz, metan üretimindeki değişim grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir.

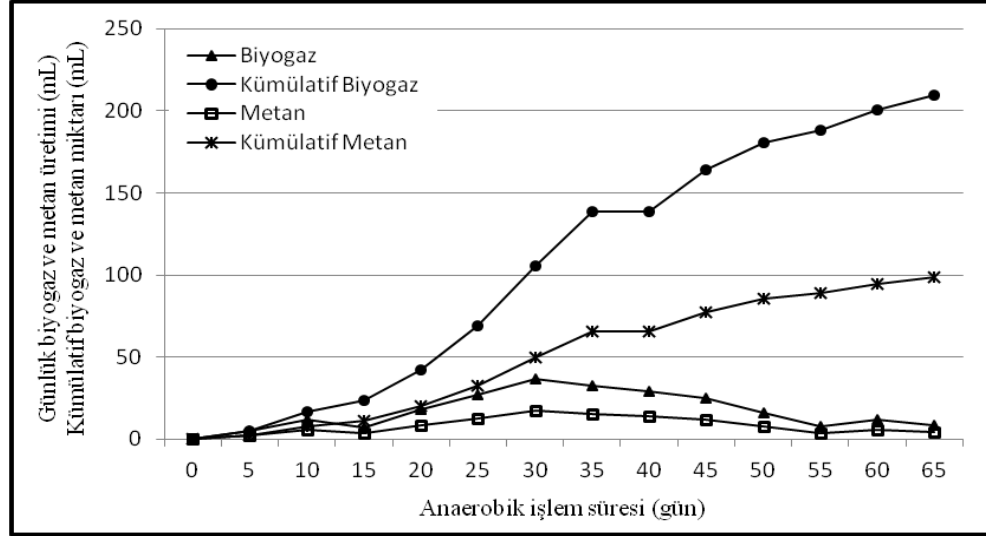


Şekil 4.36 % 20'lik H₂SO₄ ilave edilerek kimyasal ön işlem uygulanmış meyve suyu sanayi AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.36 incelendiğinde biyogaz üretimi ilk 10 günde fazla meydana gelmemiştir. 35.günde ise maksimuma ulaşmış ve bu ölçümden sonra da giderek azalmıştır. Kimyasal ön işlem uygulanmış numunenin anaerobik işlem sonunda oluşan biyogaz miktarı 231,9 mL olup, biyogaz üretim verimi 158,66 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. 65 günün sonunda oluşan metan miktarı 112,38 mL, metan üretim verimi ise 76,89 mL metan/ g suda çözünmüş KM'dir. Ön işlem uygulanmış numunedeki hacimsel metan yüzdesi % 48,46 olarak bulunmuştur.

10 min ısı HP Ön İşlem Uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı ısı HP ön işlem koşulunda elde edilen, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına ait biyogaz ve metan üretim miktarları ve kümülatif biyogaz, metan üretimindeki değişim grafiği Şekil 4.37’de verilmiştir.

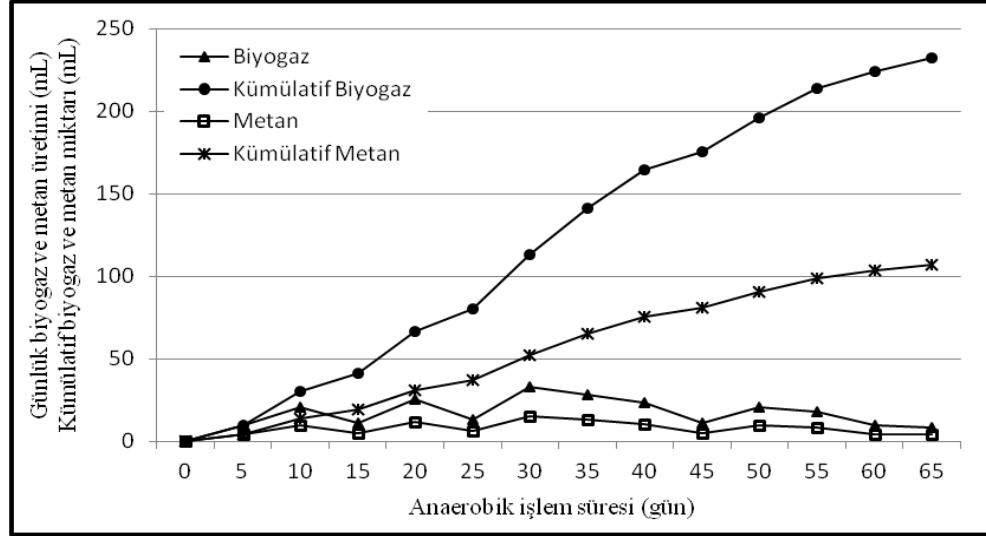


Şekil 4.37 10 min ısı HP ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.37 incelendiğinde ilk 15 günde çok fazla biyogaz üretimi gerçekleşmediği, 30. günde maksimuma ulaştığı ve daha sonraki günlerde biyogaz üretiminin azaldığı görülmektedir. Isıl HP ön işleminin uygulandığı numunede, 65 günlük anaerobik işlem sonunda meydana gelen biyogaz üretimi 209,26 mL, biyogaz üretim verimi ise 188,12 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Metan üretimi 98,98 mL olup, metan üretim verimi ise 88,98 mL metan/ g suda çözünmüş KM'dir. Hacimsel metan yüzdesi % 47,3'dür.

10 min ısı MW Ön İşlem Uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı ısı MW ön işlem koşulunda elde edilen, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına ait biyogaz ve metan üretim miktarları ve kümülatif biyogaz, metan üretimindeki değişim grafiği Şekil 4.38’de verilmiştir.

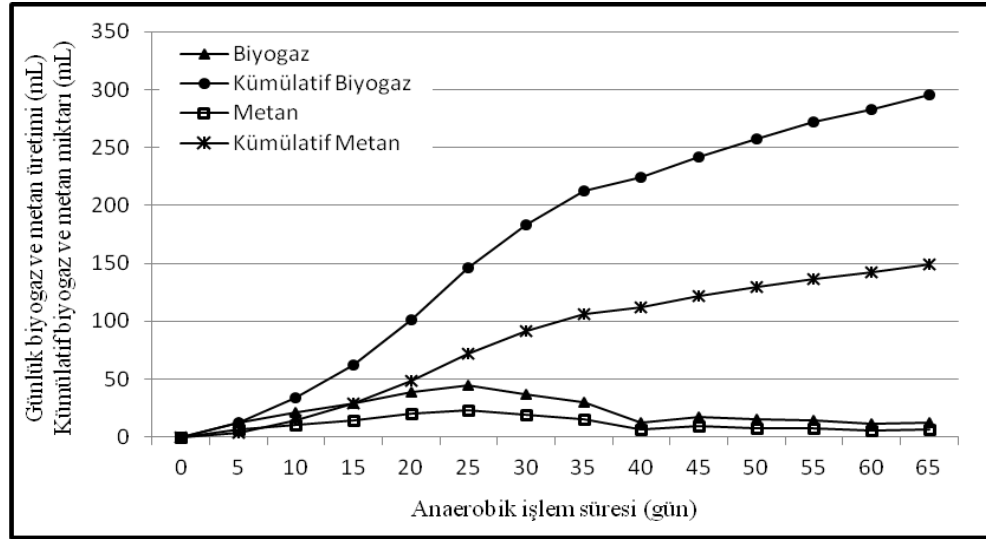


Şekil 4.38 10 min ısı MW ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.38 incelendiğinde ön işlem uygulanmış numunede 5. günden sonra biyogaz üretiminin gerçekleştiği görülmektedir. Maksimum biyogaz üretimi 30. gündedir. Bu ölçümden sonra biyogaz üretimi yavaşlamaya başlamıştır. 10 min ısı MW ön işlem uygulanmış numunenin 65 gün sonundaki biyogaz ve metan üretim miktarları sırasıyla 232,48 mL ve 107,27 mL olup, biyogaz ve metan üretim verimleri sırasıyla 190,96 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 88,11 mL metan/ g suda çözünmüş KM’dir. Hacimsel metan yüzdesi ise % 46,14 olarak bulunmuştur.

% 20'lik H₂SO₄ İlave Edilerek 20 min Isıl HP Ön İşlem Uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı kimyasal ve ısı HP ön işlem koşulunda elde edilen, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına ait biyogaz ve metan üretim miktarları ve kümülatif biyogaz, metan üretimindeki değişim grafiği Şekil 4.39'da verilmiştir.

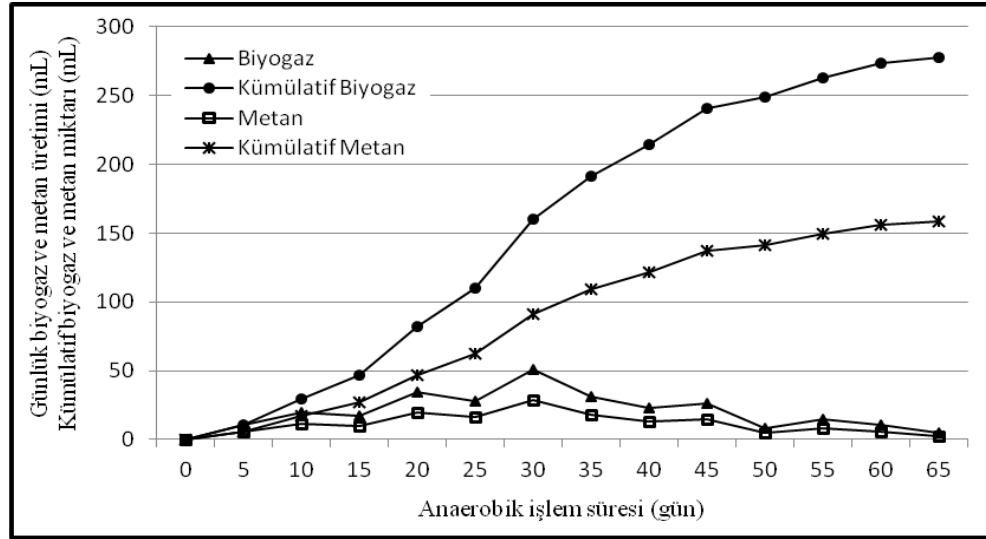


Şekil 4.39 % 20'lik H₂SO₄ ilave edilerek 20 min ısı HP ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.39'a bakıldığında 25. güne kadar zamanla bir artış görülmüş, 25.günden sonra 40. güne kadar azalmış ve 40. günden itibaren sabit bir şekilde biyogaz üretimi azalarak gerçekleşmiş ve nihayet 65. günün sonunda bitmiştir. Arıtma çamuru örneğine % 20 H₂SO₄ ilave edilerek, 20 min süre pişirilmesi ile ön işlem uygulanmış numunenin anaerobik işlem sonucunda oluşan biyogaz miktarı; 295,32 mL olup, biyogaz üretim verimi 202,11 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM'dir. Metan üretim miktarı ise 151,41 mL, metan üretim verimi 103,62 mL metan/ g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Biyogaz üretim verimi en fazla olan numune kimyasal-ısı HP ön işlem uygulanmış numunedir. Hacimsel metan yüzdesi ise % 51,27 olarak bulunmuştur.

% 15'lik NaOH İlave Edilerek 10 min Isıl MW Ön İşlem Uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı kimyasal ve ısı MW ön işlem koşulunda elde edilen, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazına ait, biyogaz ve metan üretim miktarları ve kümülatif biyogaz, metan üretimindeki değişim grafiği Şekil 4.40'da verilmiştir.



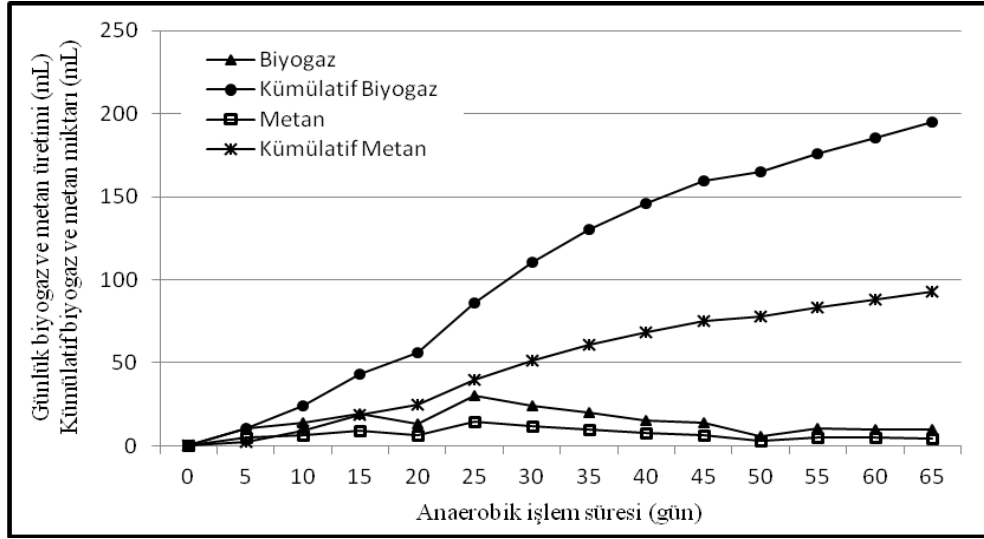
Şekil 4.40 % 15'lik NaOH ilave edilerek 10 min ısı MW ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.40 incelendiğinde ön işlem uygulanmış numunedeki biyogaz üretimi 5. günden sonra yavaş yavaş oluşmaya başlamış ve 30. günde maksimum değerine ulaşmıştır. Daha sonra zamanla azalmış ve 50. günden itibaren sabit bir şekilde biyogaz üretimi devam etmiştir. Bu artış ve azalışların mikroorganizma faaliyetlerinden kaynaklandığı söylenebilir. Arıtma çamuru numunesine % 15 NaOH eklenerek 10 min ısı MW ön işleminden sonra 65 gün süre ile anaerobik işleme tabi tutulmasıyla üretilen biyogaz miktarı 278,02 mL, metan miktarı ise 158,17 mL olarak bulunmuştur. Biyogaz ve metan üretim verimleri sırasıyla 154,71 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 88,02 mL metan/ g suda çözünmüş KM olarak hesaplanmıştır. Ön işlem uygulanmış numunenin hacimsel metan yüzdesi ise % 56,89'dur.

4.5.2 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamurundaki Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Ön İşlemsiz Örneğinde Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

Ön işlem uygulanmamış, Tokat AAT arıtma çamuru sulu fazına ait, günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.41’de görülmektedir.

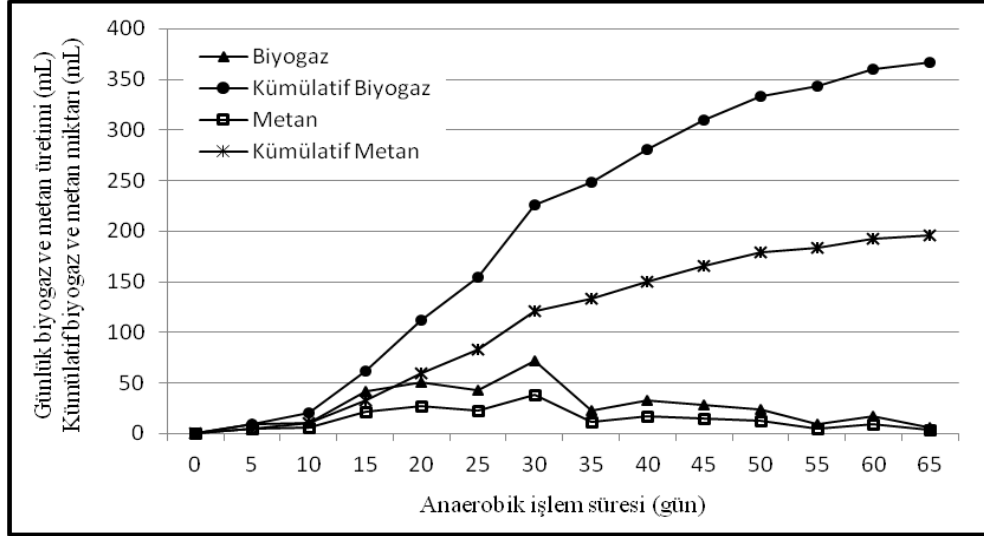


Şekil 4.41 Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.41 incelendiğinde 15. güne kadar yavaş yavaş biyogaz üretiminin arttığı ve 25. günde maksimum değerine ulaştığı görülmektedir. 25. günden itibaren biyogaz üretim miktarında hiç artış olmadan zamanla bir azalma görülmüş olup 50. günden itibaren biyogaz üretimi sabit bir şekilde devam etmiştir. Anaerobik işlem sonunda oluşan biyogaz miktarı 195,37 mL olup, biyogaz üretim verimi 188,00 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak hesaplanmıştır. 65 gün sonunda meydana gelen metan miktarı 95,46 mL, metan üretim verimi ise 91,86 mL metan/g suda çözünmüş KM'dir. Hacimsel metan yüzdesi % 48,86 olarak bulunmuştur.

% 10'luk H₂SO₄ İlave Edilerek Kimyasal Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı kimyasal ön işlem koşulunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.42’de verilmiştir.

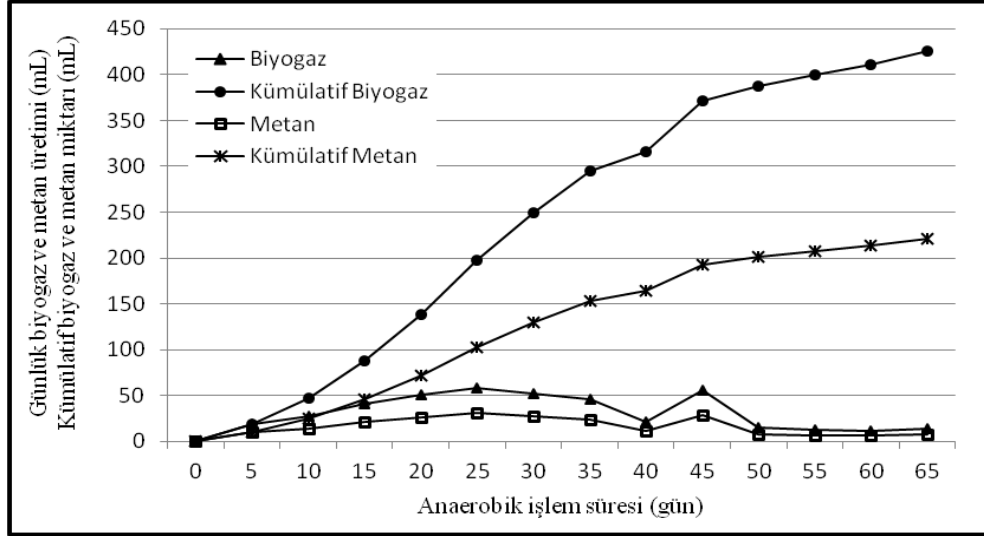


Şekil 4.42 % 10'luk H₂SO₄ ilave edilerek kimyasal ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.42 incelendiğinde, ilk 10 günde fazla biyogaz üretilmediği daha sonra 30. güne kadar hızlı bir şekilde biyogaz üretildiği görülmektedir. 35. günde düşüşe geçen biyogaz ve metan miktarları 65. güne kadar sabit bir şekilde üretilmiştir. Anaerobik işlem sonunda oluşan biyogaz miktarı 366,85 mL, biyogaz üretim verimi ise 284,42 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Oluşan metan miktarı 196,34 mL olup metan üretim verimi ise 152,22 mL metan/g suda çözünmüş KM'dir. Kimyasal ön işlem uygulanmış numunenin hacimsel metan yüzdesi % 53,52 olarak hesaplanmıştır.

30 min Isıl HP Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı ısıl HP ön işlem koşulunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.43'te verilmiştir.

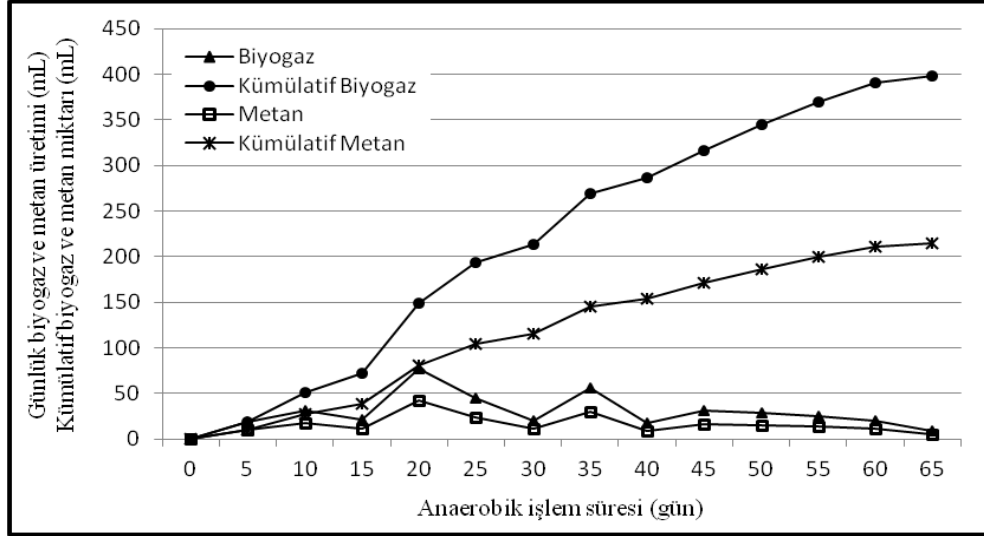


Şekil 4.43 30 min ısıl HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Isıl HP ön işlem uygulanmış numunedeki biyogaz ve metan üretimine bakıldığında, 25. güne kadar sabit bir şekilde artış görülmektedir. 40. güne kadar sabit bir azalmayla birlikte 45. günde belirgin bir artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi olarak ortamdaki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından biyogaz üretmek amacıyla kullanıldığı düşünülebilir. 30 min ısıl HP ön işlem uygulanmış numunenin anaerobik işlemi sonunda üretilen biyogaz miktarı 425,71 mL olup biyogaz üretim verimi 332,43 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Metan üretimi ise 221,11 mL, metan üretim verimi ise 172,66 mL metan/g suda çözünmüş KM'dir. Numunenin hacimsel metan yüzdesi % 51,94 olarak bulunmuştur.

10 min Isıl MW Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı ısıl MW ön işlem koşulunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.44'te görülmektedir.

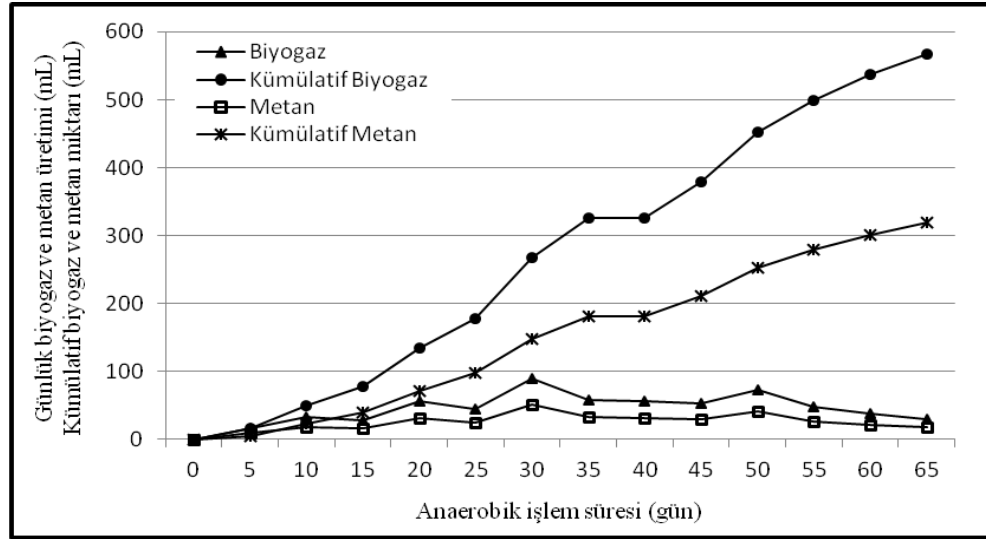


Şekil 4.44 10 min ısıl MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.44 incelendiğinde, 15. güne kadar biyogazın çok üretilmediği ancak 20. günde maksimuma ulaştığı görülmektedir. 30. güne kadar azalan biyogaz miktarı 35. günde hızlı bir şekilde artmıştır. Buna sebep olarak, mikroorganizmaların organik maddeleri üreme amaçlı ve daha sonra da biyogaz üretiminde kullanması olarak söylenilebilir. Biyogaz ve metan üretimi daha sonra 65. güne kadar azalarak devam etmiştir. Isıl MW ön işlem uygulanmış numunenin 65 gün sonunda oluşan biyogaz ve metan üretim miktarları sırasıyla 398,66 mL ve 214,96 mL'dir. Biyogaz ve metan üretim verimleri ise sırasıyla 359,48 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 193,83 mL metan/g suda çözünmüş KM olarak hesaplanmıştır. Anaerobik işlem süresince oluşan biyogazın hacimsel metan yüzdesi % 53,92 olarak bulunmuştur.

% 20'lik NaOH İlave Edilerek 10 min Isıl HP Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı kimyasal ve ısıl HP ön işlem koşulunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.45'te görülmektedir.

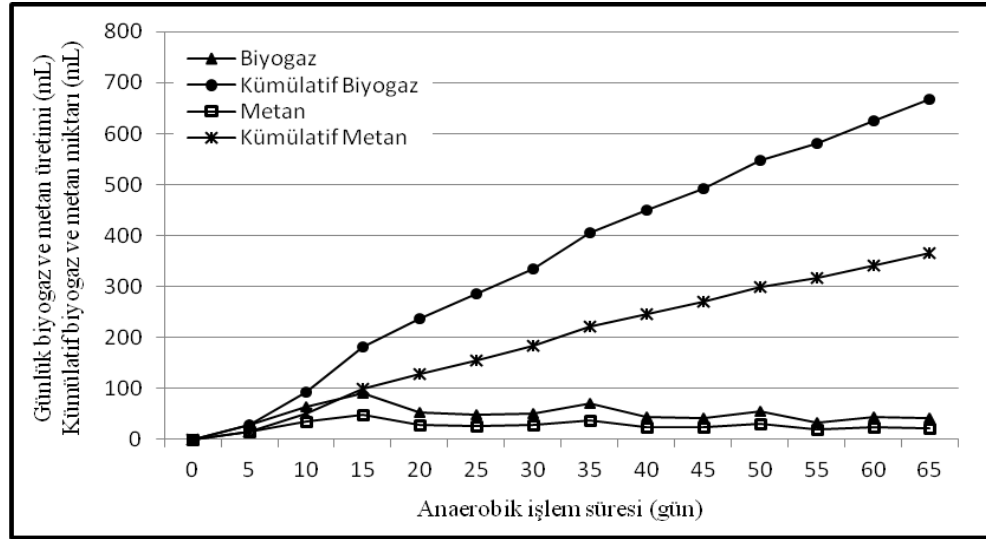


Şekil 4.45 % 20'lik NaOH ilave edilerek 10 min ısıl HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Kimyasal-ısıl ön işlem uygulanmış numunedeki biyogaz üretimi incelendiğinde 30. güne kadar farklı miktarlarda üretildiği daha sonra sabit bir şekilde azaldığı görülmektedir. Anaerobik işlem sonunda meydana gelen biyogaz ve metan miktarları sırasıyla 566,87 mL ve 322,83 mL olarak bulunmuştur. Biyogaz ve metan üretim verimleri ise sırasıyla 358,60 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 204,22 mL metan/g suda çözünmüş KM'dir. Hacimsel metan yüzdesi ise % 56,95 olarak hesaplanmıştır. Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuruna uygulanan ön işlemlerdeki anaerobik çürüme neticesinde oluşan metan yüzdesi en fazla % 20'lik NaOH ilave edilerek 10 min ısıl HP ön işleminde meydana gelmiştir.

% 20'lik H₂SO₄ İlave Edilerek 10 min Isıl MW Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı kimyasal ve ısıl MW ön işlem koşulunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.46'da görülmektedir.



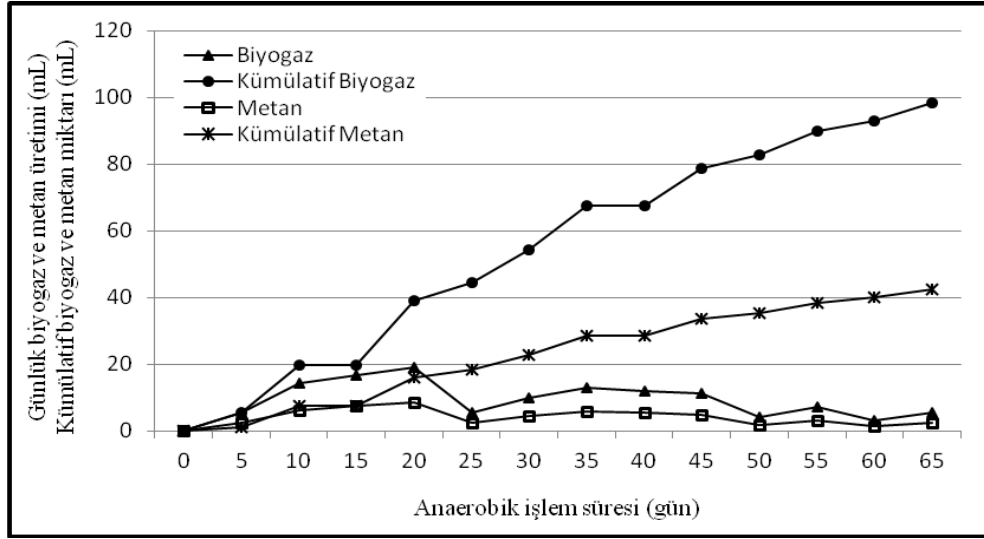
Şekil 4.46 % 20'lik H₂SO₄ ilave edilerek 10 min ısıl MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.46 incelendiğinde, ilk 5 günde fazla biyogaz üretilmediği 15. günde ise maksimuma ulaştığı görülmektedir. Daha sonra ise 65. güne kadar azalarak devam etmiştir. Kimyasal-ısıl MW ön işlemi uygulanmış numunede üretilen biyogaz ve metan miktarları sırasıyla 667,51 mL ve 364,93 mL, biyogaz ve metan üretim verimleri ise sırasıyla 396,34 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 216,68 mL metan/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi çamuru örnekleri karşılaştırıldığında en fazla biyogaz ve metan üretimi verimi bu ön işlemde görülmektedir. Bu numunenin hacimsel metan yüzdesi % 54,67 olarak hesaplanmıştır.

4.5.3 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamurundaki Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Ön İşlemsiz Örneğinde Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru ön işlemsiz örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.47’de aşağıda verilmiştir.



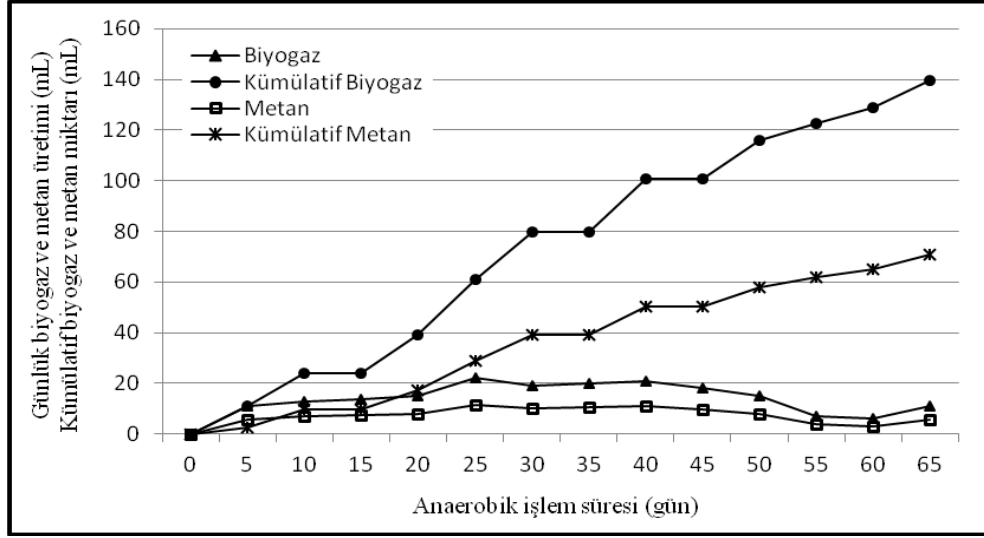
Şekil 4.47 Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.47 incelendiğinde; ön işlemsiz numunenin 65 günlük biyogaz üretiminde biyogaz ve metan oluşumu 20. güne kadar hızlı bir şekilde artmıştır. Biyogaz üretimi 25. günde aniden düşüş göstermiştir. Bu düşüşe sebep olarak, mikroorganizmaların organik maddeleri üreme amaçlı olarak kullanmaları düşünülmektedir.

Ön işlemsiz numunenin anaerobik işlemi sonunda oluşan biyogaz miktarı 98,55 mL olup, biyogaz üretim verimi 99,75 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM’dir. 65 gün sonunda oluşan metan miktarı ise 43,57 mL, metan üretim verimi 44,10 mL metan/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Hacimsel metan yüzdesi % 44,21’dir.

% 20'lik H₂SO₄ İlave Edilerek Kimyasal Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı kimyasal ön işlem koşulunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.48'de görülmektedir.



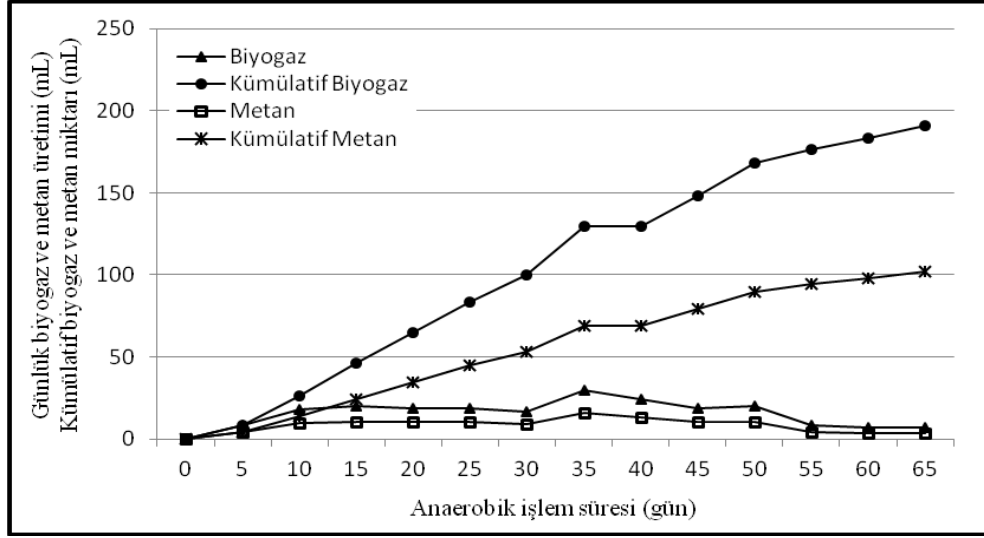
Şekil 4.48 % 20'lik H₂SO₄ ilave edilerek kimyasal ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.48 incelendiğinde, biyogaz ve metan üretimi 25. güne kadar sabit bir şekilde artmış ve 25. günden sonra sabit bir şekilde azalmıştır. Kimyasal ön işlem uygulanmış numunenin biyogaz ve metan üretim miktarları 139,74 mL ve 73,91 mL'dir.

Biyogaz ve metan üretim verimleri ise 118,10 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 62,46 mL metan/g suda çözünmüş KM olarak hesaplanmıştır. Hacimsel metan yüzdesi % 52,89'dur.

30 min Isıl HP Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı ısı HP ön işlem koşulunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.49’da görülmektedir.



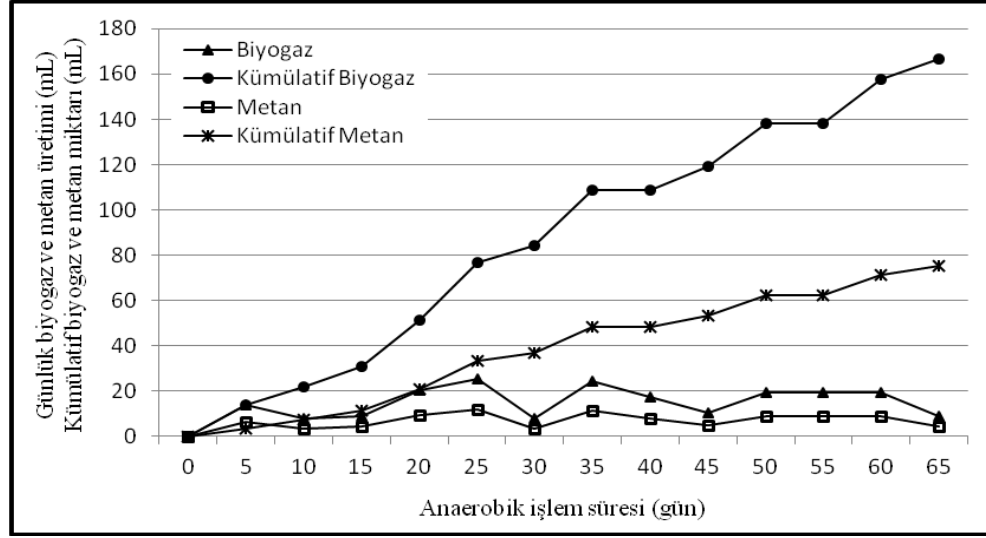
Şekil 4.49 30 min ısı HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Isıl HP ön işlemi uygulanmış numunedeki biyogaz miktarında ilk 5 günde biyogazın oluşmadığı 35. güne kadar sabit bir şekilde arttığı görülmektedir. 55. günden sonra ise biyogaz miktarında pek bir değişiklik görülmemektedir. 55. günden sonra biyogaz oluşumunun azalması, ortamda fazla organik madde kalmadığından mikroorganizmaların ölü mikroorganizmalarla beslenerek biyogaz üretimine katkıda bulunmadığı şeklinde söylenilebilir. Ön işlem uygulanmış numunenin anaerobik işlem sonunda oluşan biyogaz miktarı 190,55 mL, biyogaz üretim verimi ise 177,95 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur.

Metan üretim miktarı ve metan üretim verimi ise sırasıyla 101,62 mL ve 94,90 mL metan/g suda çözünmüş KM’dir. Numunenin hacimsel metan yüzdesi % 53,33 olarak hesaplanmıştır.

10 min Isıl MW Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı ısıl MW ön işlem koşulunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.50’de görülmektedir.

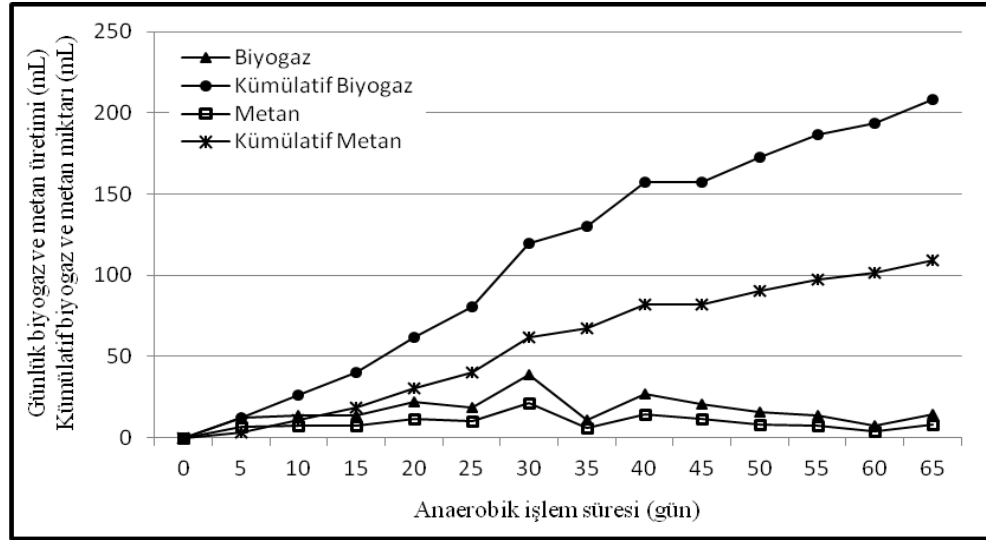


Şekil 4.50 10 min ısıl MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Isıl MW ön işlemi uygulanmış numunedeki biyogaz üretiminde ilk 5 günde biraz oluşum görülmekle birlikte 10. günde tekrar düşüş gözlenmiştir. Bu durum, organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından besin maddesi olarak kullanılması ve biyogaz üretilmemesi ile açıklanabilir. 25. günde maksimum değerine ulaşan biyogaz miktarı, yine aynı şekilde 30. ve 45. günde düşmüştür. Biyogaz üretimi 65 gün sonunda 166,54 mL olup, biyogaz üretim verimi ise 153,58 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM’dir. Metan üretimi 65 gün sonunda 78,46 mL olup, metan üretim verimi ise 72,35 mL metan/g suda çözünmüş KM’dir. Üretilen biyogazda bulunan metanın hacimsel olarak % 47,11 olduğu görülmektedir.

% 20'lik NaOH İlave Edilerek 30 min Isıl HP Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı kimyasal ve ısıl HP ön işlem koşulunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.51’de görülmektedir.

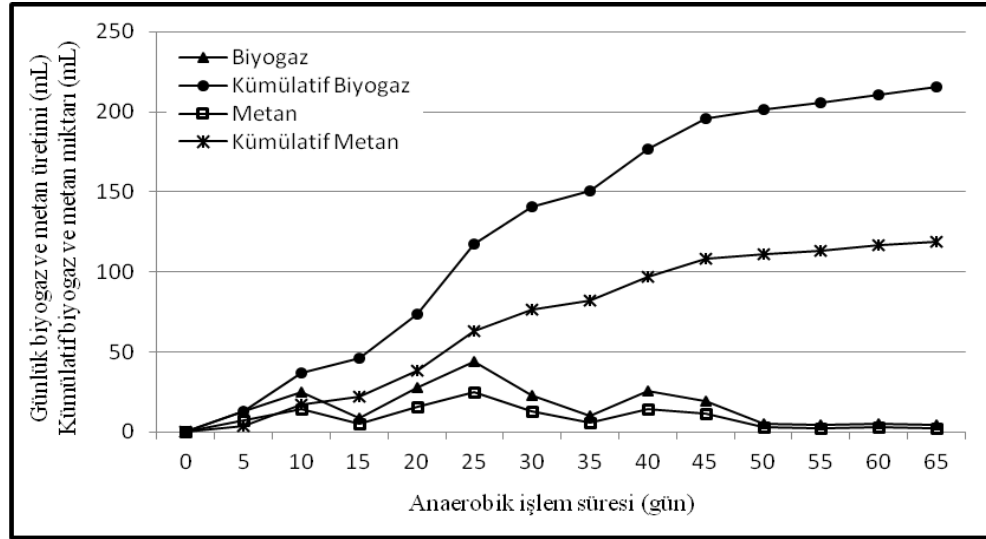


Şekil 4.51 % 20'lik NaOH ilave edilerek 30 min ısıl HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.51’de bakıldığında, ilk 5 günde biyogazın oluşmadığı ve 30. güne kadar sabit bir şekilde arttığı görülmektedir. 35. günde meydana gelen ani düşüşle birlikte 40. günden itibaren azalarak devam etmiştir. Kimyasal-ısıl HP ön işlem uygulanmış numunenin anaerobik işlem sonunda oluşan biyogaz miktarı 208,43 mL olup, biyogaz üretim verimi 148,86 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM’dir. 65 günün sonunda oluşan metan miktarı 112,68 mL, metan üretim verimi ise 80,47 mL metan/g suda çözünmüş KM’dir. Ön işlem uygulanmış numunedeki hacimsel metan yüzdesi % 54,06 olarak bulunmuştur.

% 20'lik H₂SO₄ İlave Edilerek 30 min Isıl MW Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamuru Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

En yüksek suda çözünürlüğün saptandığı kimyasal ve ısı MW ön işlem koşulunda Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.52’de görülmektedir.



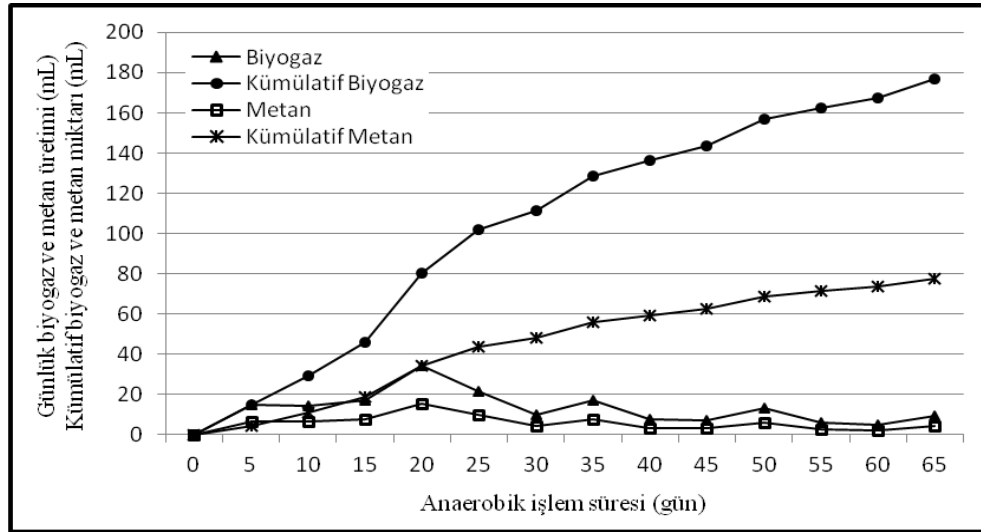
Şekil 4.52 % 20'lik H₂SO₄ ilave edilerek 30 min ısı MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Ön işlem uygulanmış numunede 10. günde mikroorganizmaların organik maddeleri biyogaz üretmek için kullanıldığı görülmektedir. Bu artışı takiben biyogaz üretiminde 15. günde hızlı bir azalma görülmekte ve 25. günde maksimum değerine ulaşmaktadır. Daha sonra yine iniş ve çıkışlarla biyogaz üretimi azalarak devam etmektedir. Bu, mikroorganizmaların kimi zaman üreme kimi zaman biyogaz üretme amacıyla organik maddeleri besin olarak kullanması olarak açıklanabilir. Kimyasal-ısı MW ön işleminin uygulandığı numunede 65 günlük anaerobik işlem sonunda meydana gelen biyogaz üretimi 215,31 mL, biyogaz üretim verimi ise 179,28 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Metan üretim verimi ise 122,73 mL olup, metan üretimi ise 102,19 mL metan/g suda çözünmüş KM'dir. Hacimsel metan yüzdesi % 57'dir.

4.5.4 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımındaki Biyogaz ve Metan Üretim Miktarlarının Zamanla Değişimi

Ön İşlemsiz Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımı Örneğinden Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.53’de görülmektedir.

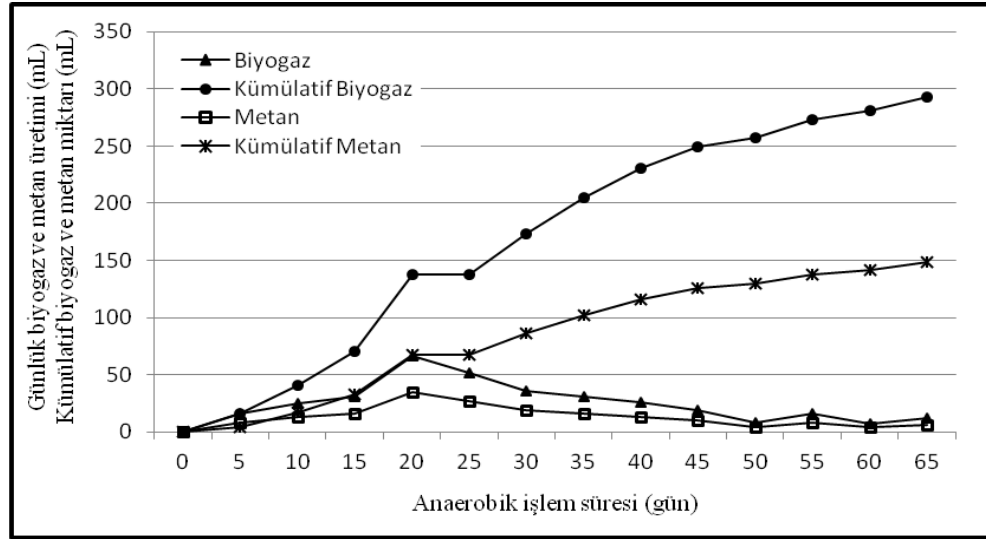


Şekil 4.53 Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.53 incelendiğinde; biyogaz miktarı 20. günde maksimum değerine ulaşmıştır. Daha sonra dalgalanmalarla birlikte biyogaz üretimi zamanla azalmıştır. Arıtma çamuru örneği ön işlemsiz numunesinin anaerobik işlem sonucunda oluşan biyogaz miktarı 176,71 mL olup, biyogaz üretim verimi 178,93 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM’dir. Metan üretim miktarı ise 79,96 mL, metan üretim verimi 80,97 mL metan/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Hacimsel metan yüzdesi % 45,25’dir.

% 15'lik NaOH İlave Edilerek Kimyasal Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımının Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.54'te görülmektedir.



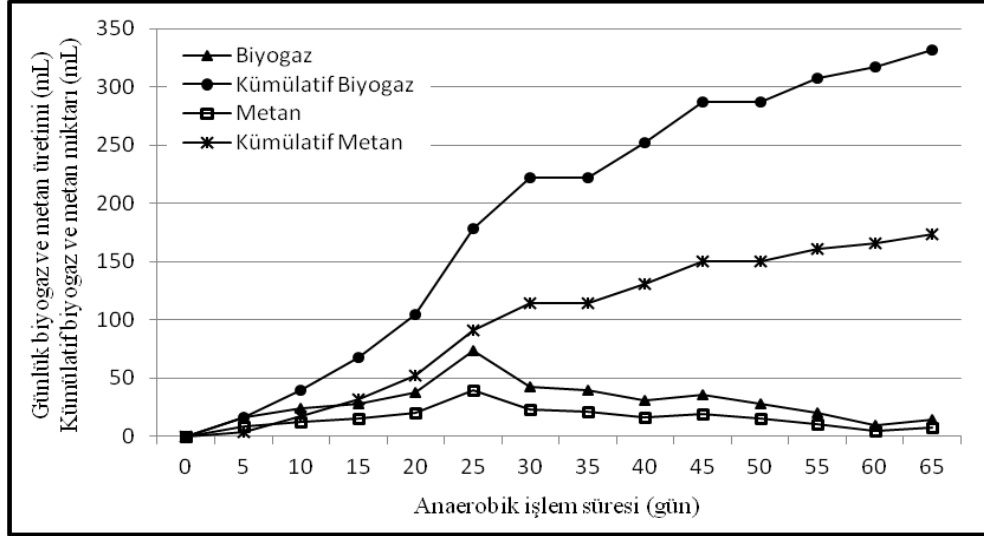
Şekil 4.54 % 15'lik NaOH ilave edilerek kimyasal ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

20. günde maksimum olan biyogaz üretimi anaerobik işlem tamamlanıncaya kadar azalarak devam etmiştir. Arıtma çamuru numunesinin % 15 NaOH ilave edildikten sonra 65 gün süre ile anaerobik işleme tabi tutulmasıyla üretilen biyogaz miktarı 293,14 mL, metan miktarı ise 152,67 mL olarak bulunmuştur.

Biyogaz ve metan üretim verimleri sırasıyla 238,83 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 124,38 mL metan/g suda çözünmüş KM olarak hesaplanmıştır. Ön işlem uygulanmış numunenin hacimsel metan yüzdesi ise % 52,08'dir.

30 min ısıt HP Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımının Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.55’te görülmektedir.



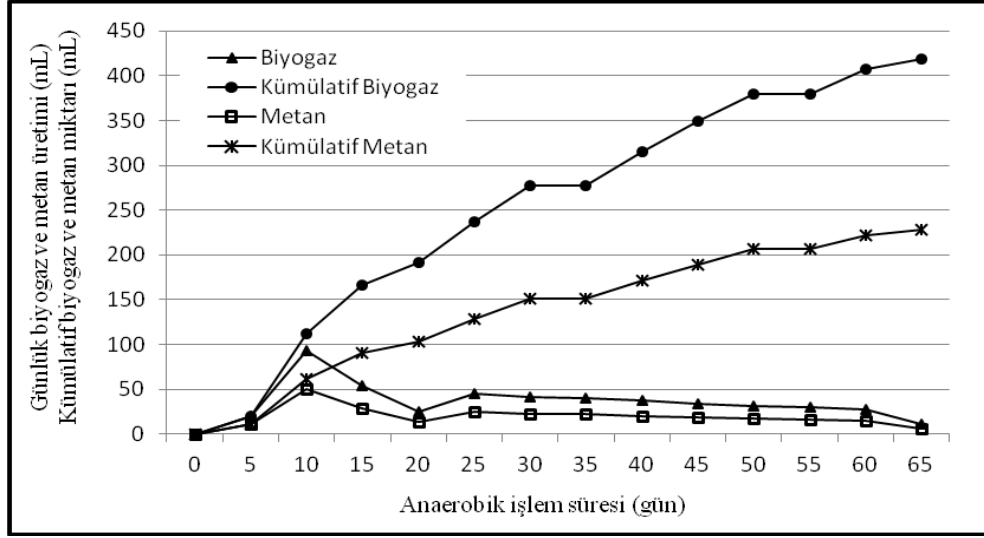
Şekil 4.55 30 min ısıt HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

30 min ısıt HP ön işlem uygulanmış numunedeki biyogaz 25. güne kadar artarak devam etmekte daha sonra sabit bir şekilde azalmaktadır. Anaerobik işlem sonunda oluşan biyogaz miktarı 331,71 mL olup, biyogaz üretim verimi 282,69 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak hesaplanmıştır.

65 gün sonunda meydana gelen metan miktarı 145,12 mL, metan üretim verimi ise 123,68 mL metan/g suda çözünmüş KM'dir. Hacimsel metan yüzdesi % 43,75 olarak bulunmuştur.

30 min ısı MW Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımının Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.56’da görülmektedir.



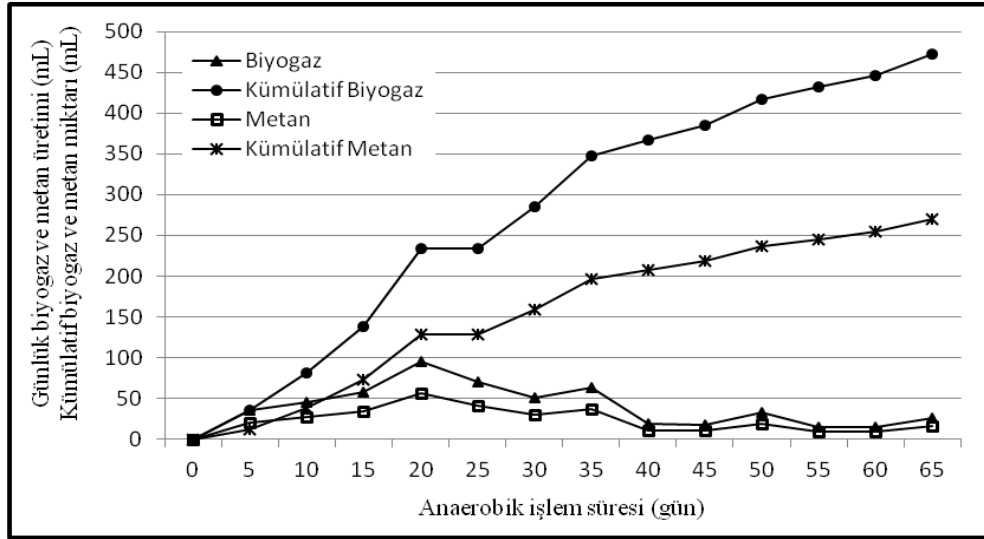
Şekil 4.56 30 min ısı MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Şekil 4.56 incelendiğinde; ısı MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında, biyogaz üretim miktarı ilk 5 günde fazla oluşmazken, 10. günde maksimum değerine ulaşmıştır. 20. güne kadar hızlı bir düşüşle birlikte 25. günden anaerobik işlem bitene kadar sabit bir şekilde azalmıştır.

Anaerobik işlem sonunda oluşan biyogaz miktarı 419,25 mL, biyogaz üretim verimi ise 264,31 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. Oluşan metan miktarı 227,61 mL olup, metan üretim verimi ise 143,49 mL metan/g suda çözünmüş KM'dir. Kimyasal ön işlem uygulanmış numunenin hacimsel metan yüzdesi % 54,29 olarak hesaplanmıştır.

% 20'lik H_2SO_4 İlave Edilerek 30 min Isıl HP Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımının Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.57’de görülmektedir.



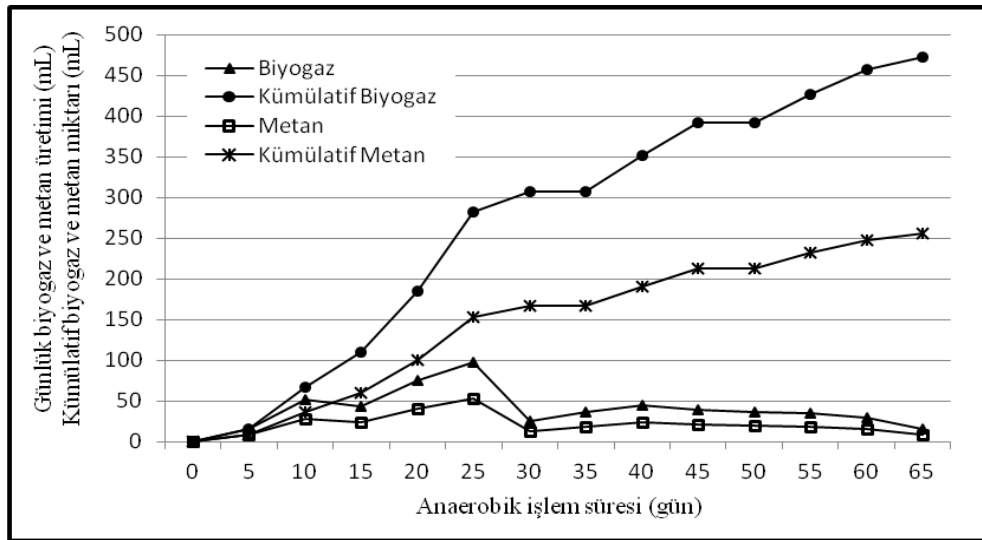
Şekil 4.57 % 20'lik H_2SO_4 ilave edilerek 30 min ısııl HP ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Kimyasal ve ısııl HP ön işlemin uygulandığı numunedeki biyogaz üretiminde 20. güne kadar sabit bir artış gözlenmiş daha sonra artış ve azalışlarla 65. güne kadar devam etmiştir. Bu dalgalanmanın sebebi, mikroorganizma faaliyetleri olarak gösterilebilir. Anaerobik işlem sonunda oluşan biyogaz miktarı 472,72 mL, biyogaz üretim verimi ise 284,74 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur.

Oluşan metan miktarı 278,43 mL olup, metan üretim verimi ise 167,71 mL metan/g suda çözünmüş KM'dir. Kimyasal ön işlem uygulanmış numunenin hacimsel metan yüzdesi % 58,9 olarak hesaplanmıştır.

% 20'lik H_2SO_4 İlave Edilerek 20 min Isıl MW Ön İşlem Uygulanmış Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT Arıtma Çamuru Karışımının Sulu Fazında Zamanla Üretilen Biyogaz ve Metan Miktarlarının Zamanla Değişimi

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı örneğinin günlük biyogaz ve metan üretimleri ve kümülatif biyogaz, metan üretim miktarlarındaki değişim Şekil 4.58'de görülmektedir.



Şekil 4.58 % 20'lik H_2SO_4 ilave edilerek 20 min ısııl MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazında zamanla üretilen biyogaz ve metan miktarı

Kimyasal ve ısııl MW ön işlem uygulanmış numunenin biyogaz üretimine bakıldığında, ilk 5 günde biyogazın fazla üretilmediği, 25. günde maksimum seviyeye ulaştığı görülmektedir. 30. günde meydana gelen ani düşüş mikroorganizmaların organik maddeleri üreme amaçlı kullanması olarak düşünülebilir.

Kimyasal-ısııl MW ön işlem uygulanmış numunenin 65 gün sonunda oluşan biyogaz ve metan üretim miktarları sırasıyla 471,96 mL ve 256,13 mL'dir. Biyogaz ve metan üretim verimleri ise sırasıyla 294,02 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 159,56 mL metan/g suda çözünmüş KM olarak hesaplanmıştır. Anaerobik işlem süresince oluşan biyogazın hacimsel metan yüzdesi % 54,27 olarak bulunmuştur.

4.6 Çalışmada Kullanılan Örneklerde Biyogaz ve Metan Üretim Verimi

Genel Değerlendirme

Çizelge 4.7-Çizelge 4.12'de anaerobik işlem süresince arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerinde üretilen kümülatif biyogaz ve kümülatif metan miktarları, biyogaz ve metan üretim verimleri ve hacimsel metan yüzdesi verilmiştir.

Çizelge 4.7 Anaerobik işlem süresince Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerinde üretilen kümülatif biyogaz ve metan miktarları, gram katı madde başına biyogaz ve metan üretim verimleri ve hacimsel metan yüzdesi

Ön İşlem Adı	Biyogaz üretim verimi (mLbiyogaz/g suda çözünmüş KM)	Kümülatif Biyogaz (mL)	Metan Üretim Verimi (mLmetan/g suda çözünmüş KM)	Kümülatif Metan (mL)	Hacimsel Metan Yüzdesi (%)
Ön İşlemsiz	148,00	146,7	63,14	62,58	42,66
Kimyasal	158,66	231,9	76,89	112,38	48,46
Isıl HP	188,12	209,26	88,98	98,98	47,3
Isıl MW	190,96	232,48	88,11	107,27	46,14
Kimyasal-Isıl HP	202,11	295,32	103,62	151,41	51,27
Kimyasal-Isıl MW	154,71	278,02	88,02	158,17	56,89

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuruna uygulanan ön işlemlilerden sonra en yüksek biyogaz ve metan üretim verimlerinin sırasıyla; 202,11 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 103,62 mL metan/g suda çözünmüş KM ile % 20 H₂SO₄ ilavesi ile 20 min ısı HP ön işlemin uygulandığı numunede olduğu gözlenmiştir. En fazla hacimsel metan yüzdesi % 56,89 ile % 15 NaOH ilavesi ile 10 min ısı MW ön işleminde görülmüştür. 10 min ısı HP ön işleminde biyogaz üretim verimi 188,12 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM iken 10 min ısı MW ön işleminde ise 190,96 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM'dir. Burada mikrodalga uygulamanın mikroorganizmanın yapısını değiştirdiğinden dolayı biyogaz veriminde artış meydana geldiği söylenilebilir.

Çizelge 4.8 Anaerobik işlem süresince Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerinde üretilen kümülatif biyogaz ve metan miktarları, gram katı madde başına biyogaz ve metan üretim verimleri ve hacimsel metan yüzdesi

Ön İşlem Adı	Biyogaz üretim verimi (mLbiyogaz/g suda çözünmüş KM)	Kümülatif Biyogaz (mL)	Metan Üretim Verimi (mLmetan/g suda çözünmüş KM)	Kümülatif Metan (mL)	Hacimsel Metan Yüzdesi (%)
Ön İşlemsiz	188,00	195,37	91,86	95,46	48,86
Kimyasal	284,42	366,85	152,22	196,34	53,52
Isıl HP	332,43	425,71	172,66	221,11	51,94
Isıl MW	359,48	398,66	193,83	214,96	53,92
Kimyasal-Isıl HP	358,60	566,87	204,22	322,83	56,95
Kimyasal-Isıl MW	396,34	667,51	216,68	364,93	54,67

Tüm ön işlemlerde biyogaz üretim verimi ön işlemsiz numuneden elde edilenden daha fazla olarak bulunmuştur. Isıl ön işlemlerde biyogaz üretim verimi, sadece kimyasal ön işlem uygulanan örnekten elde edilene göre daha fazladır. Isıl MW ön işlem de, ısı HP ön işleme göre daha fazla biyogaz üretim verimi görülmüştür.

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuruna uygulanan ön işlemlerden sonra en yüksek biyogaz ve metan üretim verimlerinin 396,34 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 216,68 mL metan/g suda çözünmüş KM ile % 20 H₂SO₄ eklenerek 10 min ısı MW ön işlemin uygulandığı numunede olduğu gözlenmiştir.

En fazla hacimsel metan yüzdesi ise % 56,95 ile, % 20 NaOH eklenerek 10 min ısı HP ön işleminde görülmüştür.

Kimyasal ve ısı MW ön işlem uygulanmış numunede biyogaz üretim verimi kimyasal ve ısı HP ön işlem uygulanmış numuneninkinden daha yüksek bulunmuştur. Burada uygulanan ön işlemler sırasıyla; % 20 NaOH eklenerek 10 min ısı HP ve % 20 H₂SO₄ eklenerek 10 min ısı MW ön işleminde olup, elde edilen biyogaz üretim verimleri sırasıyla; 358,60 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve 396,34 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM şeklindedir.

Çizelge 4.9 Anaerobik işlem süresince Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerinde üretilen kümülatif biyogaz ve metan miktarları, gram katı madde başına biyogaz ve metan üretim verimleri ve hacimsel metan yüzdesi

Ön İşlem Adı	Biyogaz üretim verimi (mLbiyogaz/g suda çözünmüş KM)	Kümülatif Biyogaz (mL)	Metan Üretim Verimi (mLmetan/g suda çözünmüş KM)	Kümülatif Metan (mL)	Hacimsel Metan Yüzdesi (%)
Ön İşlemsiz	99,75	98,55	44,10	43,57	44,21
Kimyasal	118,10	139,74	62,46	73,91	52,89
Isıl HP	177,95	190,55	94,90	101,62	53,33
Isıl MW	153,58	166,54	72,35	78,46	47,11
Kimyasal-Isıl HP	148,86	208,43	80,47	112,68	54,06
Kimyasal-Isıl MW	179,28	215,31	102,19	122,73	57

Tüm ön işlemlerde biyogaz üretim verimi ön işlemsiz numuneden elde edilenden daha fazla olarak bulunmuştur. Isıl ön işlemlerde biyogaz üretim verimi, sadece kimyasal ön işlem uygulanan örnekten elde edilenle karşılaştırıldığında, daha fazladır. Isıl HP ön işlem de, ısı MW ön işleme göre daha fazla biyogaz üretim verimi alınmasına sebep olmuştur.

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuruna uygulanan ön işlemlerden sonra en yüksek biyogaz üretim verimi % 20 H₂SO₄ eklenerek 30 min ısı MW ön işleminin yapıldığı numunede 179,28 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olarak bulunmuştur. En yüksek metan üretim veriminin 102,19 mL metan/g suda çözünmüş KM ile aynı numunede bulunmuştur. En fazla hacimsel metan yüzdesi ise % 57 ile kimyasal-ısı MW ön işleminde görülmüştür.

Çizelge 4.10 Anaerobik işlem süresince Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımlarının ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerinde üretilen kümülatif biyogaz ve metan miktarları, gram katı madde başına biyogaz ve metan üretim verimleri ve hacimsel metan yüzdesi

Ön İşlem Adı	Biyogaz üretim verimi (mLbiyogaz/g suda çözünmüş KM)	Kümülatif Biyogaz (mL)	Metan Üretim Verimi (mLmetan/g suda çözünmüş KM)	Kümülatif Metan (mL)	Hacimsel Metan Yüzdesi (%)
Ön İşlemsiz	178,93	176,71	80,97	79,96	45,25
Kimyasal	238,83	293,14	124,38	152,67	52,08
Isıl HP	282,69	331,71	123,68	145,12	43,75
Isıl MW	264,31	419,25	143,49	227,61	54,29
Kimyasal-Isıl HP	284,74	472,72	167,71	278,43	58,9
Kimyasal-Isıl MW	294,02	471,96	159,56	256,13	54,27

Çizelge 4.10 incelendiğinde; kimyasal ilavesi ile ısıl işlemin bir arada kullanılmasının biyogaz verimini artırdığı görülmektedir. Tüm ön işlemlerde biyogaz üretim verimi ön işlemsiz numuneden elde edilenden daha fazla olarak bulunmuştur. Isıl ön işlemlerde biyogaz üretim verimi, sadece kimyasal ön işlem uygulanan örnekten elde edilenle karşılaştırıldığında, daha fazla olarak bulunmuştur. Isıl ön işlemler de kendi aralarında karşılaştırıldığında; Isıl HP ön işlem de, ısıl MW ön işleme göre daha fazla biyogaz üretim verimi alınmasına sebep olmuştur.

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ve Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımına uygulanan ön işlemlerden sonra en yüksek biyogaz üretim veriminin % 20 H₂SO₄ eklenerek, 20 min ısıl MW ön işlemin uygulandığı numunede 294,02 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM olduğu gözlenmiştir. En yüksek metan üretim veriminin 167,71 mL metan/g suda çözünmüş KM ise % 20 H₂SO₄ eklenerek 30 min ısıl HP ön işlemin uygulandığı numunede olduğu saptanmıştır. En fazla hacimsel metan yüzdesi % 58,9 ile % 20 H₂SO₄ eklenerek 30 min ısıl HP ön işleminde görülmüştür.

Çizelge 4.11 Anaerobik işlem süresince arıtma çamuru numunelerinin ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerindeki gram suda çözünmüş KM başına biyogaz ve metan üretim verimleri

	Ön İşlem Adı	Biyogaz Üretim Verimi (ml biyogaz/g suda çözünmüş KM)	Metan Üretim Verimi (ml biyogaz/g suda çözünmüş KM)	Biyogazın metan yüzdesi (%)
Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru u	Ön İşlemsiz	148,00	63,14	42,66
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	158,66	76,89	48,46
	Isıl HP (10 min)	188,12	88,98	47,30
	Isıl MW (10 min)	190,96	88,11	46,14
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	202,11	103,62	51,27
	Kimyasal-Isıl MW (% 15 NaOH+10 min)	154,71	88,02	56,89
Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	188,00	91,86	48,86
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	284,42	152,22	53,52
	Isıl HP (30 min)	332,43	172,66	51,94
	Isıl MW (10 min)	359,48	193,83	53,92
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+10 min)	358,60	204,22	56,95
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +10 min)	396,34	216,68	54,67
Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	99,75	44,10	44,21
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	118,10	62,46	52,89
	Isıl HP (30 min)	177,95	94,90	53,33
	Isıl MW (10 min)	153,58	72,35	47,11
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+30 min)	148,86	80,47	54,06
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	179,28	102,19	57,00
% 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes Meyve Suyu Sanayii AAT arıtma çamuru karışımı	Ön İşlemsiz	178,93	80,97	45,25
	Kimyasal (% 15 NaOH)	238,83	124,38	52,08
	Isıl HP (30 min)	282,69	123,68	43,75
	Isıl MW (30 min)	264,31	143,49	54,29
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	284,74	167,71	58,90
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	294,02	159,56	54,27

4 ayrı numunelerden elde edilen biyogaz üretim verimleri karşılaştırıldığında; tüm ön işlemlerde elde edilen biyogaz üretim verimleri ön işlemsizde elde edilenden daha fazla olarak bulunmuştur.

En yüksek biyogaz üretim verimi (396,34 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu karışımından elde edilmiştir. Bunu sırasıyla; % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı sulu çamuru (294,02 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM), Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu çamuru (202,11 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) ve Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu karışımı (179,28 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) takip etmektedir.

4 ayrı numune için elde edilen biyogaz üretim verimleri karşılaştırıldığında; ısı HP ve ısı MW ön işlemlerin, sadece kimyasal ön işlem uygulanmasından daha fazla biyogaz üretim verimi alınmasını sağladığı söylenilebilir. Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT ile Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu örneklerinde elde edilen biyogaz üretim verimleri, ısı MW ön işlemde, ısı HP ön işlemde elde edilenden daha fazladır. Bu durum Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası ve % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımında elde edilen biyogaz üretim verimliliklerinde de tersi bir ilişki göstermiştir. Yani bu iki ön işlemde de ısı HP ön işlem, ısı MW ön işlemten daha fazla biyogaz üretim verimi sağlamıştır.

Öte yandan, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru dışında kullanılan diğer 3 farklı çamur sulu örneklerinde, kimyasal madde ilaveli ısı MW ön işlem, kimyasal madde ilaveli ısı HP ön işlemten daha fazla biyogaz üretim verimi elde edilmesine sebep olmuştur. Bu da göstermektedir ki, biyogaz üretim verimi açısından; genel olarak kimyasal madde ilaveli ısı MW ön işlem, kimyasal ilaveli ısı HP ön işlemten daha etkilidir.

Yapılan çalışmada hammaddelerden elde edilen biyogazın metan yüzdesi % 42,60-58,90 arasında bulunmuştur. En yüksek metan verimi; % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımından, % 20 H₂SO₄ ilaveli 30 min ısı HP ön işlem koşulundan % 58,90 metan yüzde değeriyle elde edilmiştir.

4.12 Anaerobik işlem süresince arıtma çamuru numunelerinin ön işlemlili ve ön işlemsiz örneklerindeki gram çamur başına biyogaz ve metan üretim verimleri

	Ön İşlem Adı	Biyogaz Üretim Verimi (ml biyogaz/ g çamur)	Metan Üretim Verimi (ml metan/ g çamur)
Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru u	Ön İşlemsiz	10,80	4,61
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	17,07	8,27
	Isıl HP (10 min)	15,40	7,28
	Isıl MW (10 min)	17,11	7,89
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	21,74	11,14
	Kimyasal-Isıl MW (% 15 NaOH+10 min)	20,46	11,64
Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	4,96	2,42
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	9,32	4,99
	Isıl HP (30 min)	10,81	5,62
	Isıl MW (10 min)	10,13	5,46
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+10 min)	14,40	8,20
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +10 min)	16,95	9,27
Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	1,60	0,71
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	2,27	1,20
	Isıl HP (30 min)	3,10	1,65
	Isıl MW (10 min)	2,71	1,27
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+30 min)	3,39	1,83
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	3,50	1,99
% 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes Meyve Suyu Sanayii AAT arıtma çamuru karışımı	Ön İşlemsiz	8,75	3,96
	Kimyasal (% 15 NaOH)	14,51	7,56
	Isıl HP (30 min)	16,42	7,18
	Isıl MW (30 min)	20,75	11,27
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	23,40	13,78
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	23,36	12,68

4 farklı numunenin birbirleriyle karşılaştırılması sonucunda; ön işlemsiz numunelerdeki en yüksek biyogaz ve metan üretim verimleri sırasıyla; 10,80 mL biyogaz/g çamur, 4,61 mL metan/g çamur ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamurunda elde edilmiştir.

Ön işlem uygulandığı takdirde ise, en yüksek biyogaz ve metan üretim verimleri sırasıyla; 23,40 mL biyogaz/g çamur ve 13,78 mL metan/g çamur ile % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımına uygulanan % 20 H₂SO₄ eklenerek 30 min ısıt HP ön işleminde bulunmuştur.

Bu deneylerden elde edilen ve yapılan ön işlemlerin biyogaz verimlerinde artış sağladığı yönünde ortaya çıkan sonuçlar aşağıda verilen literatür çalışmaları tarafından da desteklenmektedir.

Yapmış olduğumuz özellikle ısıt ön işlemlerde; jel yapısını parçalanarak, hücre içinde bulunan maddelerin sulu faza geçtiği ve bu maddelerin anaerobik olarak parçalanarak, suda çözünürlüğün ve biyogaz biyogaz üretiminin artmasına neden olduğu görülmüştür. Bu bulgular Murto ve ark. (2004), Crawford ve ark. (1982) ile de desteklenmektedir.

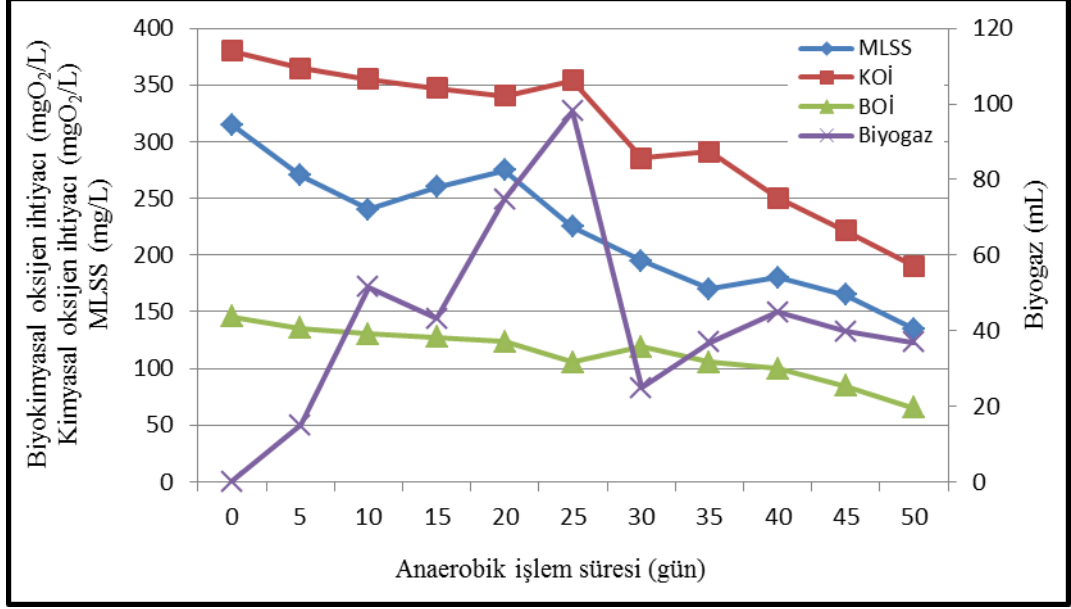
Arıkan (2008), yapmış olduğu çalışmasında, organik katı atık çamurundan daha fazla faydalanmak amacıyla tekrar çürütmüştür. Çürütülmüş çamura, hidroliz aşamasında parçalanması olan lignoselülozik maddeleri parçalamak amacıyla H₂SO₄ eklemiş (% 1, % 2 ve % 5) ve ısıt ön işlem (121 °C'de 2 saat) uygulamıştır. Çalışma sonunda çürütülmüş çamurun ön işleme tabi tutulduktan sonraki ikincil çürütmede metan gazı üretiminin arttığı görülmüştür.

Climent ve ark. (2007), çürütülmüş aktif çamurdan termofilik koşullarda (55 °C) biyogaz üretiminde, mekanik ve termal ön işlemin etkisini araştırmışlardır. Evsel atık su arıtma tesisi aktif çamurunu (500 mL) 70 °C'de dört farklı saAATe (9, 24, 48, 72 saat) termal ön işleme tabi tutmuşlardır. Elde ettikleri biyogaz üretimini 9, 24, 48, 72 saat ön işlem ile sırasıyla 330 ± 20, 520 ± 70, 460 ± 40, 460 ± 10, 297 ± 4 mL bulmuşlardır. Termofilik ön işlemin termofilik bakterilerin biyolojik aktivitelerini arttırdığını bildirerek, yapılan bu çalışma desteklenmektedir.

Pehlivan ve ark. (2008); yapmış olduğu benzer bir çalışmada; kütlece % 10 katı içeriğine sahip sulu çamur oda sıcaklığında, kimyasalsız ve kütlece katının % 10, % 15 ve % 20'si kadar NaOH ile ve/veya geri soğutucu altında 15, 30 ve 60 min ısıt MW ve ısıt HP ön işleme tabi tutmuştur. Çalışma sonucunda; inek gübresinin en iyi suda çözündüğü ön işlem koşulu, % 99,4 değeriyle 30 min ısıt MW ve % 15 NaOH ilavesinde elde edilmiştir. Yapılan tüm ön işlemlerde katı maddenin suda çözünürlüğünün arttığı görülmüştür.

4.7 Ön işlemsiz ve Ön işlemlı Çamur Örneklerinden Elde Edilen Sulu Fazlardaki pH ve MLSS, KOİ, BOİ₅ Derişiminin Zamanla Değişimi

4 ayrı çamur numunesinde suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogazın üretildiği ön işlem koşullarında elde edilen üretilen biyogazın, BOİ₅, KOİ, MLSS derişimlerinin zamana bağlı değişimi aşağıda Şekil 4.59-Şekil 4.62 arasında verilmiştir.



Şekil 4.59. Suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogazın (294,02 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) üretildiği, % 20 H₂SO₄ ilaveli ve 20 min ısı 1 MW ön işlem koşulunda Tokat AAT biyogaz öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT çamuru karışımından üretilen biyogazın, BOİ₅, KOİ, MLSS derişimlerinin zamana bağlı değişimi

Şekil 4.59 incelendiğinde; 50 günlük anaerobik işlemin başlangıcındaki ve sonundaki MLSS derişimi 315 mg/L ve 135 mg/L olarak bulunmuştur. Anaerobik işlemin sonunda MLSS derişimindeki giderim % 57,14'dir.

MLSS derişiminin zamanla değişimi incelendiğinde, 10-20. günler arasında ve 35-40 günler arasında MLSS derişiminin artması, ortamdaki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından üreme amacıyla kullanıldığından kaynaklandığını göstermektedir.

BOİ₅'in başlangıç derişimi 145,7 mgO₂/L iken anaerobik işlem sonundaki derişimi 65,2 mgO₂/L olarak bulunmuştur. BOİ₅ derişimindeki azalma % 55,25'dir.

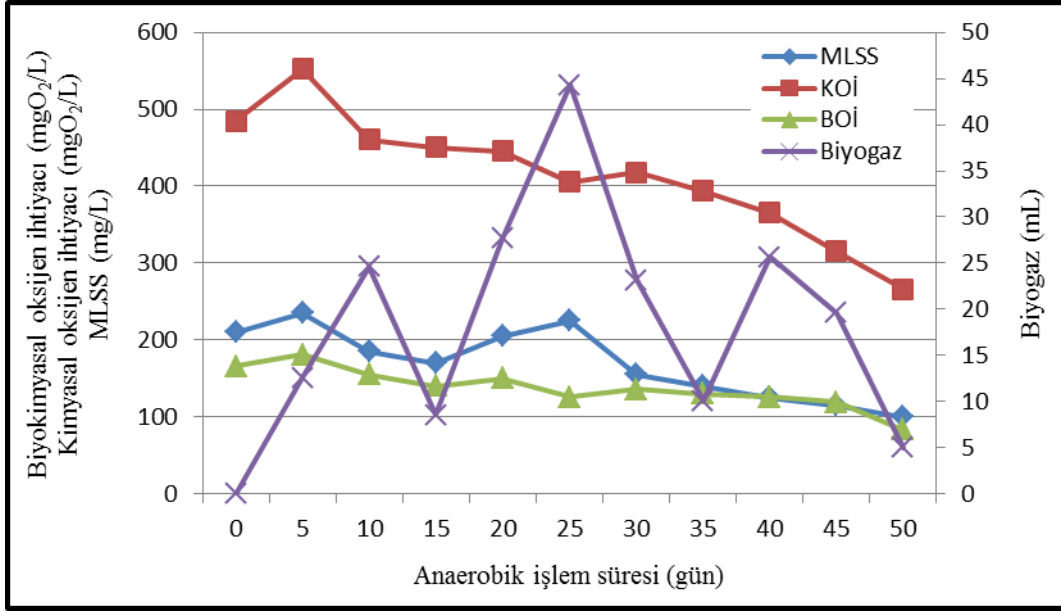
BOİ₅ derişimindeki bu değişim anaerobik işlem süresince biyolojik olarak parçalanabilen maddelerin parçalandığını ve son ürünlere dönüştüğünü göstermektedir. Biyogaz üretimindeki artışa paralel olarak BOİ₅ derişimindeki azalma anaerobik işlem

süresince devam etmiştir. Anaerobik işlem sonunda BOI_5 'de 77,89'lu bir giderim olduğu hesaplanmıştır. BOI_5 derişimleri biyolojik sistemlerde salınım göstermekte ve genelde düştüğü kaynak bilgilerden de bilinmektedir (Taner ve Ardıç, 2004).

Çözünmüş BOI_5 derişimi, anaerobik işlemin 25-30 günleri arasında artış göstermiştir. ilk 5 gününde, hem organik maddelerin hidrolizi hem de yeni mikroorganizmaların üremesiyle artış göstermiştir. Ancak daha sonra biyogaz üretiminin de başlaması ile anaerobik işlemin 30 gününe kadar düşüş göstermiştir.

Ön işlem uygulanmış numunenin başlangıç KOI derişimi $380,2 \text{ mgO}_2/\text{L}$ iken, anaerobik işlem sonundaki KOI derişimi $190,4 \text{ mgO}_2/\text{L}$ olarak bulunmuştur. KOI giderimi ise % 49,92 olarak hesaplanmıştır.

KOI derişimin ilk 5 günde ve 20-25. günler arasında artış gözlenmiş diğer günlerde düşüş göstermiştir. 10-15 günler arasında biyogaz üretimindeki azalma, ortamdaki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından biyogaz amaçlı değil üreme amaçlı kullanılmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Nitekim 10-20 günler arasında MLSS konsantrasyonunda artış görülmesi de bunu doğrulamaktadır. MLSS derişiminde gözlenen artış çözünmüş KOI derişiminde de gözlenmiştir. 25.günden sonra, ortamdaki organik maddenin azalması ile mikroorganizma faaliyetleri de azalmıştır.



Şekil 4.60 Suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogazın (179,28 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) üretildiği, % 20 H₂SO₄ ilaveli ve 30 min ısıtılmalı MW ön işlem koşulunda Tokat AAT biyogaz sonrası arıtma çamurundan üretilen biyogazın, BOİ₅, KOİ, MLSS derişimlerinin zamana bağlı değışimi

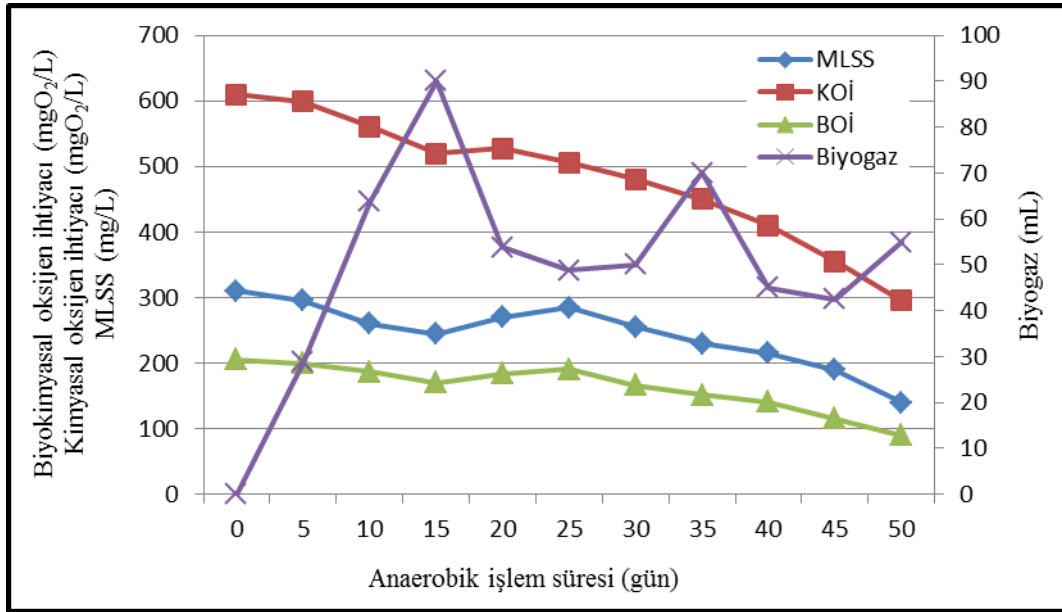
Ön işlem uygulanmış numunenin 50 gün başlangıcındaki ve sonundaki MLSS derişimi sırasıyla 210 mg/L ve 100 mg/L'dir. MLSS derişimindeki azalma % 52,38 olarak bulunmuştur.

Şekil 4.60 incelendiğinde MLSS derişiminin ilk 5 günde ve 15-25 günlerde artış gösterdiği, bunun dışındaki günlerde azaldığı gözlenmektedir. Bunun sebebi MLSS'in arttığı günlerde, ortamdaki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından üreme amacıyla kullanıldığı ve sonrasında hem üreme hem de biyogaz üretmek amacıyla kullanılmasından kaynaklandığı söylenilebilir.

Anaerobik işlemin başlangıcında BOİ₅ derişimi 165,6 mgO₂/L iken sonunda 83,5 mgO₂/L'e kadar düşüş göstermiştir. 50 gün sonundaki BOİ₅ giderimi % 49,58 olarak bulunmuştur.

Sistemdeki çözünmüş BOİ₅ derişimi biyogaz oluşumuna bağlı olarak azalma eğilimi göstermiştir. BOİ₅ derişimindeki bu değişim anaerobik işlem süresince biyolojik olarak parçalanabilen maddelerin parçalandığını ve son ürünlere dönüştüğünü göstermektedir.

KOİ derişimi başlangıçta 484,8 mgO₂/L olup anaerobik işlem sonunda 265,7 mgO₂/L'tir. KOİ derişiminde % 45,19'luk bir giderim sağlanmıştır.



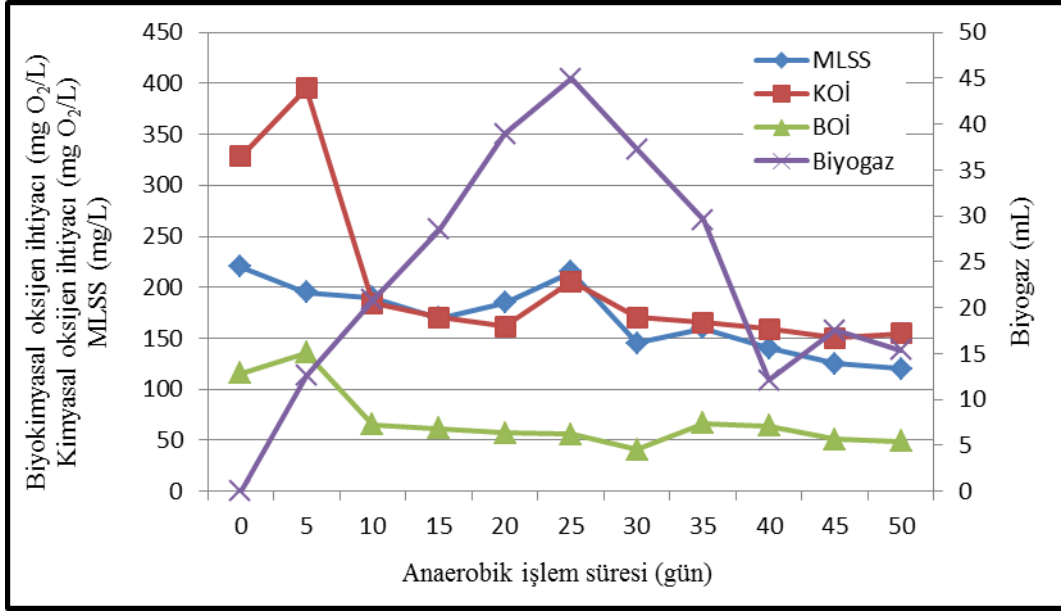
Şekil 4.61 Suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogazın (396,34 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) üretildiği, % 20 H₂SO₄ ilaveli ve 10 min ısıtılmalı MW ön işlem koşulunda Tokat AAT biyogaz öncesi arıtma çamurundan üretilen biyogazın, BOI₅, KOI, MLSS derişimlerinin zamana bağlı değışimi

Kimyasal-ısıtılmalı MW ön işlemi uygulanmış numunedeki başlangıç MLSS derişimi 310 mg/L olup, 50 günün sonunda 140 mg/L olarak bulunmuştur. MLSS derişiminde % 54,84'lük bir düşüş gözlenmiştir.

MLSS derişiminin zamanla değışimi incelendiğinde, ilk 15-25 günler arasında artmış, bu arada biyogaz miktarında düşme görülmüştür. Bu durum mikroorganizmalarca, ortamdaki organik maddelerin; biyogaz üretme amaçlı değil de, yeni hücreler üretme amaçlı kullanıldığının bir göstergesidir.

Ön işlem uygulanmış numunenin anaerobik işlemin başlangıcındaki ve sonundaki BOI₅ derişimi sırasıyla, 205,5 mgO₂/L ve 90,3 mgO₂/L olarak bulunmuştur. BOI₅ giderimi ise % 56,06 olarak hesaplanmıştır.

Sulu fazda başlangıç KOI derişimi 609,6 mgO₂/L ve anaerobik işlem sonundaki KOI derişimi 295,7 mgO₂/L olarak bulunmuştur. 50 gün sonundaki KOI'deki giderim % 51,49 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.62 Suda çözünmüş katı madde başına en yüksek biyogazın (202,11 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) üretildiği, % 20 H₂SO₄ ilaveli ve 20 min ısıtılı HP ön işlem koşulunda Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT çamurundan üretilen biyogazın, BOİ₅, KOİ, MLSS derişimlerinin zamana bağlı değışimi

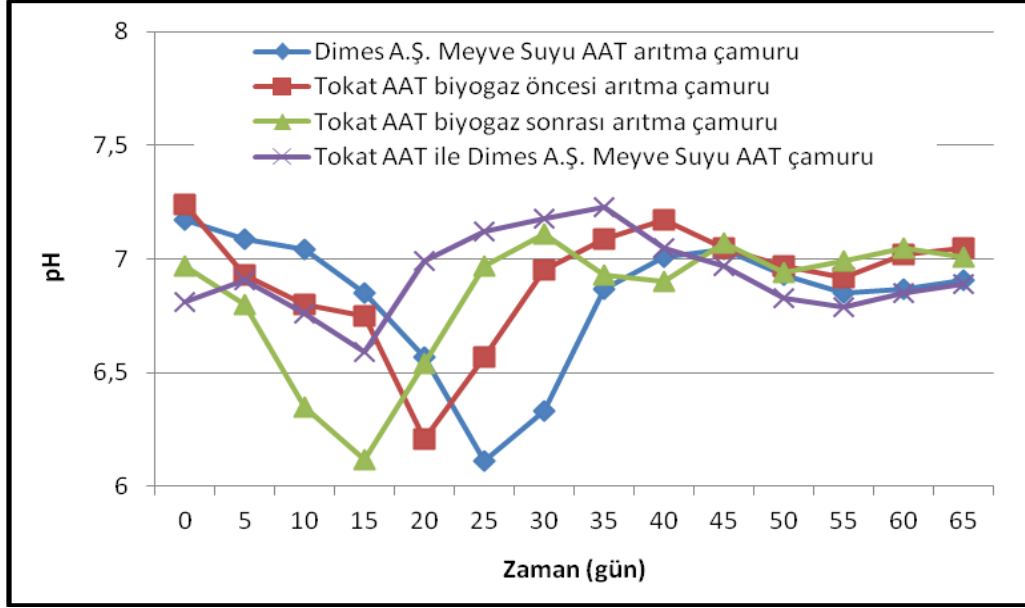
Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru sulu fazındaki başlangıç MLSS derişimi 220 mg/L olup, anaerobik işlem sonunda 120 mg/L olarak ölçülmüştür. Anaerobik işlem sonunda MLSS giderimi % 45,45 olarak hesaplanmıştır.

MLSS derişimi 15-25. günler ve 30-35. günler arasında artış göstermiştir. Bu günlerde de biyogaz oluşmasında azalmalar başlamıştır. Bu da ortamdaki organik maddeleri üreme amaçlı olarak kullanıldığını göstermektedir.

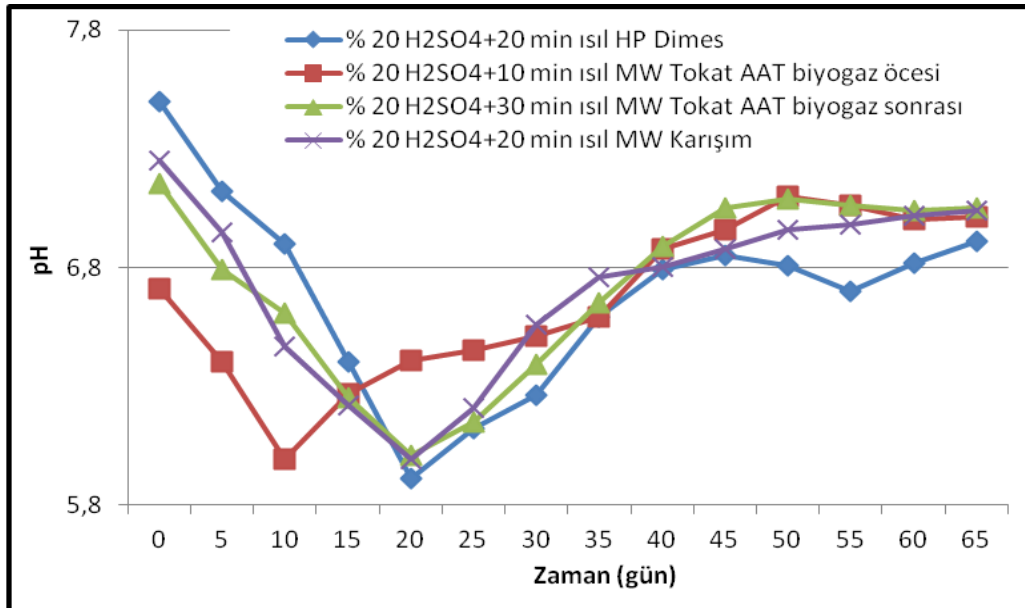
Sulu fazdaki çözünmüş BOİ₅ derişimi başlangıçta 115,5 mgO₂/L olarak saptanmış ve zamanla çeşitli değışimlerle devam ederek anaerobik işlem süresi sonunda 49,1 mg O₂/L olarak ölçülmüştür. BOİ₅ derişimindeki bu değışim anaerobik işlem süresince biyolojik olarak parçalanabilen maddelerin parçalandığını ve son ürünlere dönüştüğünü göstermektedir. Anaerobik işlem sonunda BOİ₅ derişiminde % 57,49'luk bir giderim olduğu hesaplanmıştır. Anaerobik işlem süresince çözünmüş BOİ₅ derişiminde çeşitli düşüş ve artışların görülmesinin nedeni sistemdeki mikroorganizmaların ölüm ve üremelerinden kaynaklanmaktadır.

Anaerobik işlem süresince, sistemdeki çözünmüş KOİ derişimi başlangıçta 328,3 mgO₂/L olarak bulunmuş ve 50 günün sonunda 154,6 mgO₂/L'ye düşmüştür. KOİ derişiminde % 52,92'lik bir giderim sağlanmıştır.

4 ayrı çamur numunesinin ön işlemsiz ve katı madde başına en yüksek biyogazın elde edildiği ön işlem koşullarında sulu çamur örneklerinde zamana bağlı olarak pH değişimleri sırasıyla Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'te aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.63 4 ayrı çamur numunesi için, ön işlemsiz sulu çamur örneklerinde zamana bağlı olarak pH değişimi

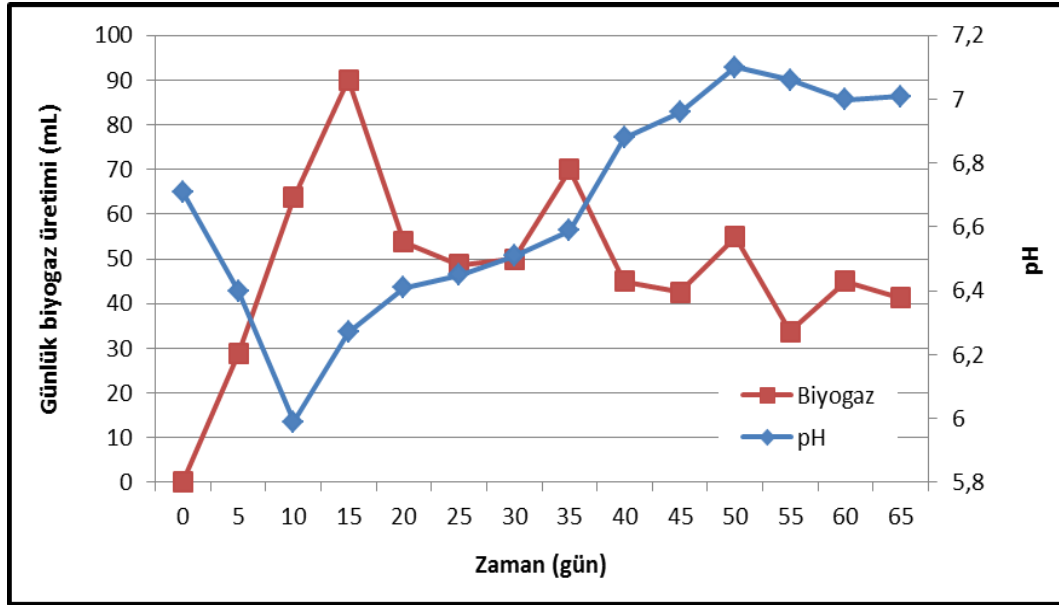


Şekil 4.64 4 ayrı çamur numunesi için, katı madde başına en yüksek biyogazın elde edildiği ön işlem koşullarında sulu çamur örneklerinde zamana bağlı olarak pH değişimi

Şekil 4.64'ten görüldüğü üzere; % 20 H₂SO₄ ilave edilerek 30 min ısıtılmalı MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında 10. günde asit oluşum aşamasının olduğu net bir şekilde görülmektedir. Asit oluşum aşaması devamında pH yükselmiş sonra biyogaz üretimi bitene kadar küçük değişimlerle devam etmiştir.

Ön işlemsiz ve ön işlem uygulanmış sulu çamur örneklerinde asit oluşum aşamasının günü değişmiş, ama olaylar aynı şekilde gerçekleşmiştir.

Öte yandan, 4 ayrı çamur numunesinin ön işlemsiz ve katı madde başına en yüksek biyogazın elde edildiği ön işlem koşullarında sulu çamur örneklerinde zamana bağlı olarak pH ve günlük biyogaz üretiminin değişimleri sırasıyla Şekil 4.65 ve Şekil 4.66'da verilmiştir.

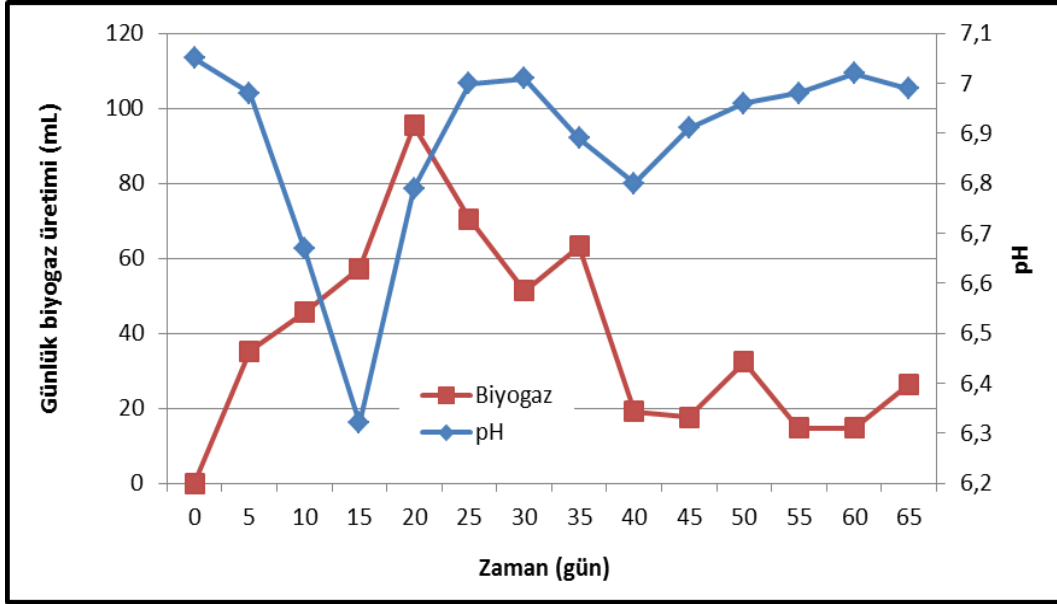


Şekil 4.65 Katı madde başına en yüksek biyogazın (396,34 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) üretildiği, % 20 H₂SO₄ ilaveli ve 10 min ısıtılmalı MW ön işlem koşulunda Tokat AAT biyogaz öncesi arıtma çamurunda üretilen biyogazın ve pH değişiminin zamana bağlı değişimi

Metan oluşturunca bakteriler için en uygun pH değerleri nötr veya hafif alkali değerlerdir. pH değerinin düşmesi, metan üreten bakteriler üzerinde toksit etki yapmaktadır. Asit oluşturunca bakterilerin sayısının artmasıyla pH düşer ve metan oluşumu azalır hatta durabilir. Bu gibi durumlarda sürekli beslemeli sistemlerde reaktöre organik madde yüklenmesi kesilerek asit oranının düşmesinin sağlanması

gerekir. pH'nın kararlı bir hale gelebilmesi için sönmüş kireç olarak bilinen kalsiyum hidroksit gibi bir kimyasal da kullanılabilir.

Şekil 4.65'ten görüldüğü üzere; asit oluşumunun görüldüğü 10. günden sonraki ölçüme (15 gün) gelinceye kadar biyogaz üretiminde biraz düşüş görülmüştür.



Şekil 4.66 Çamur başına en yüksek biyogazın (23,40 ml biyogaz/g çamur) üretildiği, % 20 H₂SO₄ ilaveli ve 30 min ısıtılma HP ön işlem koşulunda Tokat AAT biyogaz öncesi arıtma çamuru ve Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımından üretilen biyogazın ve pH değişiminin zamana bağlı değişimi

Şekil 4.66'dan da görüldüğü üzere, asit oluşumunun gözlemlendiği 15. güne kadar biyogaz üretim hızında düşmeler ve dalgalanmalar gözlenmiştir.

4.8 Çalışmada Kullanılan Örneklerden Elde Edilen Sulu Fazlardaki pH ve MLSS, KOİ, BOİ₅ derişimleri Genel Değerlendirme

4 ayrı hammaddeden elde edilen sulu çamurlardan biyogaz eldesi sırasında alınan örneklerde ölçülen KOİ, BOİ₅ ve MLSS baz alınarak hesaplanan biyogaz üretim verimleri toplu sonuçları aşağıda Çizelge 4.13'te, örneklerde BOİ₅, KOİ ve MLSS giderim yüzdeleri ise Çizelge 4.14'te aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.13 Günlük BOİ₅, KOİ giderimi ve MLSS değişimine göre biyogaz verimleri

	Ön İşlem Adı	Biyogaz Üretim Verimi ml biyogaz/g BOİ ₅ giderimi.gün	Biyogaz Üretim Verimi ml biyogaz/g KOİ giderimi.gün	Biyogaz Üretim Verimi ml biyogaz/g MLSS.gün
Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	4,75	4,93	6,34
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	6,10	7,18 (% 45,64)	5,53
	Isıl HP (10 min)	4,68	6,18	7,26
	Isıl MW (10 min)	6,14 (% 22,64)*	5,21	8,05 (% 26,97)
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	6,13	6,66	7,75
	Kimyasal-Isıl MW (% 15 NaOH+10 min)	3,76	3,75	4,13
Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	5,23	7,83	5,53
	Kimyasal (% 10 H ₂ SO ₄)	7,71	7,20	7,71
	Isıl HP (30 min)	9,28	21,59 (% 175,47)*	10,85
	Isıl MW (10 min)	9,15	11,69	11,92 (% 115,55)*
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+10min)	9,62	13,23	10,14
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +10 min)	11,60 (% 121,79)*	12,63	11,86
Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	3,14	4,27	3,82
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	7,90 (% 151,59)*	4,29	3,81
	Isıl HP (30 min)	4,48	5,66	7,15 (% 87,17)
	Isıl MW (10 min)	3,76	4,65	6,31
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+30min)	3,65	4,20	5,71
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	6,76	7,41 (% 73,54)*	6,40
% 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı	Ön İşlemsiz	4,32	7,02	8,69
	Kimyasal (%15 NaOH)	6,95	7,34	7,02
	Isıl HP (30 min)	6,79	9,41	8,21
	Isıl MW (30 min)	8,42	9,54	8,43
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	7,82	8,35	8,31
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	8,84 (% 104,63)*	9,79 (% 39,46)*	8,55

*Önişlemsiz numuneye göre % artış miktarı

Çizelge 4.14 Örneklerde BOİ₅, KOİ ve MLSS giderim yüzdeleri

	Ön İşlem Adı	% BOİ ₅ giderimi	% KOİ giderimi	MLSS giderimi
Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	55,09	53,17	41,30
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	46,22	39,28	50,98
	Isıl HP (10 min)	69,23	52,48	44,68
	Isıl MW (10 min)	52,43	61,73	40,00
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	57,49	52,91	45,45
	Kimyasal-Isıl MW (% 15 NaOH+10 min)	73,59	73,87	66,98
Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	60,81	40,63	57,50
	Kimyasal (% 10 H ₂ SO ₄)	67,11	71,87	67,09
	Isıl HP (30 min)	65,13	27,99	55,71
	Isıl MW (10 min)	68,10	53,29	52,27
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+10min)	59,42	43,22	56,36
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +10 min)	56,06	51,49	54,84
Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	53,38	39,23	43,84
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	24,77	45,66	51,35
	Isıl HP (30 min)	70,24	55,52	43,94
	Isıl MW (10 min)	67,94	54,83	40,43
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+30min)	67,55	58,65	43,18
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	49,58	45,19	52,38
% 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı	Ön İşlemsiz	73,54	45,26	36,54
	Kimyasal (%15 NaOH)	60,37	57,16	59,79
	Isıl HP (30 min)	72,19	52,11	59,70
	Isıl MW (30 min)	56,91	50,26	56,84
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	64,23	60,18	60,47
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	55,25	49,92	57,14

4 farklı arıtma çamuru numunesinin, anaerobik işlem süresince ölçümleri yapılan pH değerlerine bakıldığında, literatürde verilen bilgilerle benzerlik gösterdiği görülmektedir. Örneğin, biyogaz oluşum aşamalarından biri olan asit oluşum aşaması, pH ölçümlerinde açıkça görülmektedir.

Örneklerin en yüksek günlük g BOİ, KOİ ve MLSS giderimi başına biyogaz verimleri ve ön işlem koşulları sırasıyla; % 11,60 (% 20 H₂SO₄+10 min ısıtıl MW ön işlem), % 21,59 (30 min ısıtıl HP ön işlem), % 11,92 (10 min ısıtıl MW ön işlem) değerleriyle tamamı Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurundan elde edilmiştir.

Yapılan ön işlemlere göre, biyogaz üretimi sırasında; en yüksek % BOİ, KOİ ve MLSS giderimi ve ön işlem koşulları sırasıyla; % 73,59 (% 15 NaOH+10 min ısıtıl MW ön işlemli Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru), % 73,87 (% 15 NaOH+10 min ısıtıl MW ön işlemli Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru), % 67,09 (% 10 H₂SO₄ kimyasal ön işlemli Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru) olarak bulunmuştur.

4.9 Anaerobik İşlemlerde Kullanılan Sulu Fazlarda UM Değişimleri

4.9.1 Kullanılan Örnekler

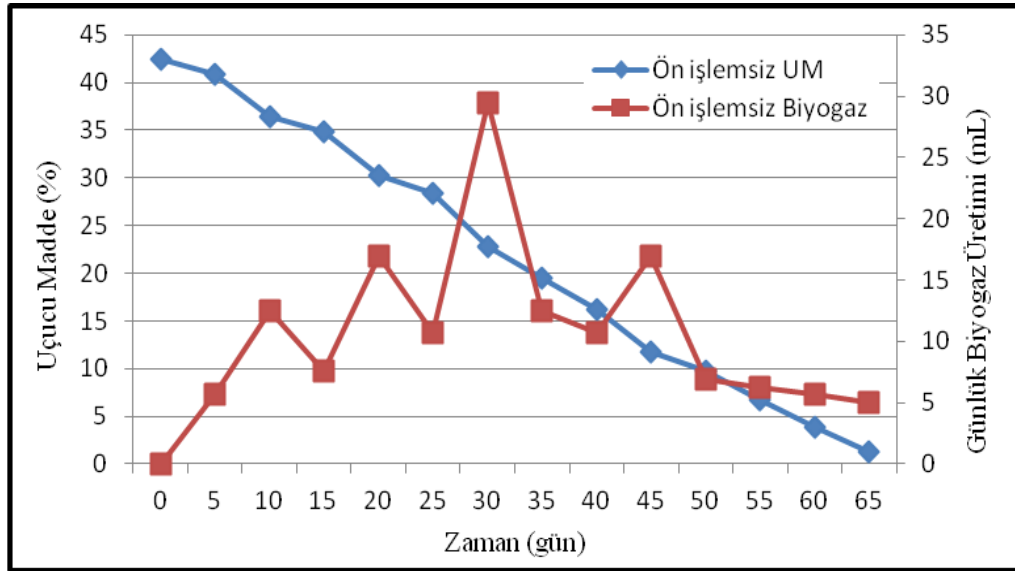
Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru ve % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT çamuru karışımlarına uygulanan ön işlemler sonunda oluşan sulu fazlara anaerobik işlemler uygulanmış ve gram uçucu madde başına üretilen biyogaz miktarları hesaplanmıştır.

4.9.2 Örneklerin UM Miktarlarının Zamanla Değişimi

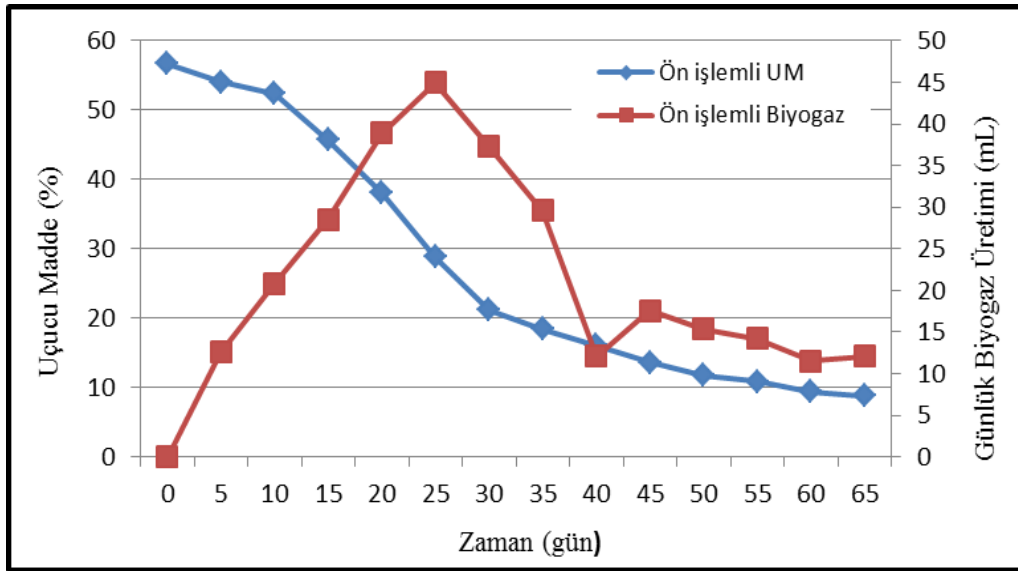
Örneklerin anaerobik süreçte üretilen UM miktarları ile ilgili bulgular, alt başlıklarda aşağıda verilmiştir.

Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT Arıtma Çamurundaki UM'nin Zamanla Değişimi

35 °C'de 65 gün inkübatörde bekletilip her beş günde bir yapılan ölçümler sonucu arıtma çamuru ön işlemsiz örneğinin ve gram UM başına en yüksek biyogaz üretim veriminin sağlandığı kimyasal-ısıtıl HP ön işleminin UM ve biyogaz üretim miktarlarının karşılaştırılması ile ilgili bulgular Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'de görülmektedir.



Şekil 4.67 Ön işlemsiz Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamurundaki UM'nin zamanla değişimi



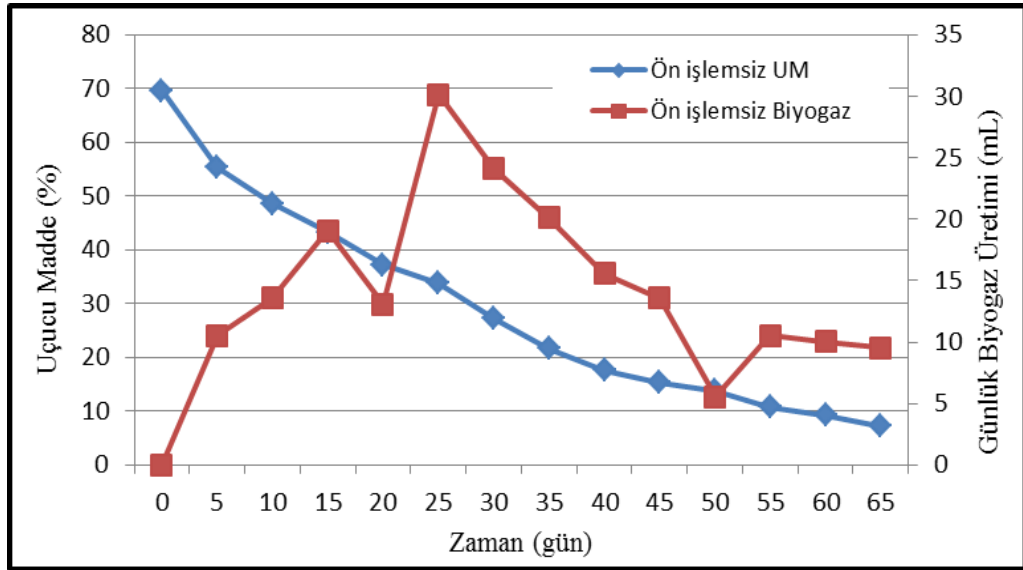
Şekil 4.68 % 20'lik H_2SO_4 ilave edilerek 20 min ısıtılıp HP ön işlem uygulanmış Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi

Şekil 4.67 ve Şekil 4.68 incelendiğinde, ön işlemsiz numunede ve % 20 H_2SO_4 ilavesiyle 20 min ısıtılıp HP ön işlem uygulanan numunede gram uçucu madde başına biyogaz üretim verimleri sırasıyla 358,97 mL biyogaz/g UM, 421,67 mL biyogaz/g UM; metan üretim verimleri ise 153,14 mL metan/g UM, 216,19 mL metan/g UM olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda biyogaz üretimi maksimum seviyede iken ön işlemsiz numunede ve % 20 H_2SO_4 kimyasal madde ilavesiyle 20 min

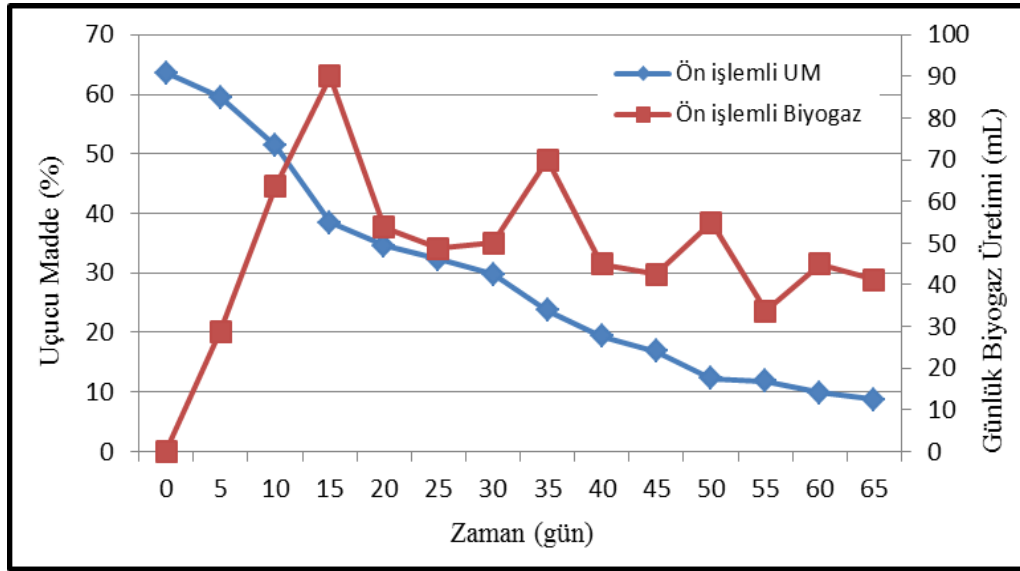
ısıt HP ön işlem uygulanan numunede sırasıyla UM'nin % 46,18'i, % 49,18'i kullanılarak, biyogaza dönüştüğü hesaplanmıştır. Diğer % 53,82'lik ve % 50,82'lik kısmında da biyogaz veriminde zamanla bir azalma görülmektedir. Görüldüğü üzere ön işlem uygulanmış numunede biyogaz üretimi 25. günde maksimuma ulaşmış ve daha fazla UM giderimi gerçekleşmiştir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamurundaki UM'nin Zamanla Değişimi

35 °C'de 65 gün inkübatörde bekletilip her beş günde bir yapılan ölçümler sonucu arıtma çamuru ön işlemsiz örneğinin ve gram UM başına en yüksek biyogaz üretim veriminin sağlandığı kimyasal-ısıt MW ön işleminin UM ve biyogaz üretim miktarlarının karşılaştırılması ile ilgili bulgular Şekil 4.69 ve Şekil 4.70'de görülmektedir.



Şekil 4.69 Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurundaki UM'nin zamanla değişimi

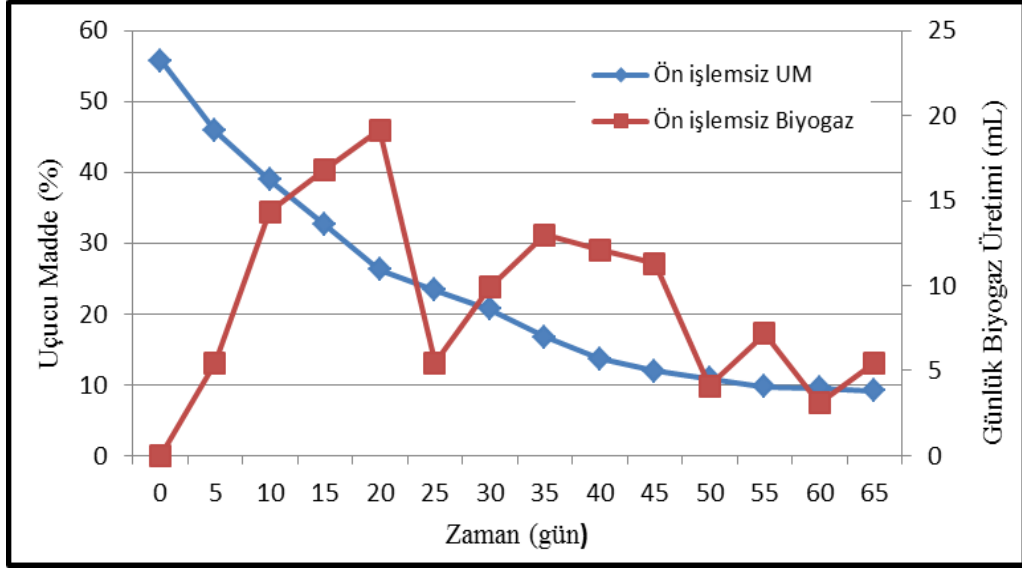


Şekil 4.70 % 20'lik H_2SO_4 ilave edilerek 10 min ısıtıl MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi

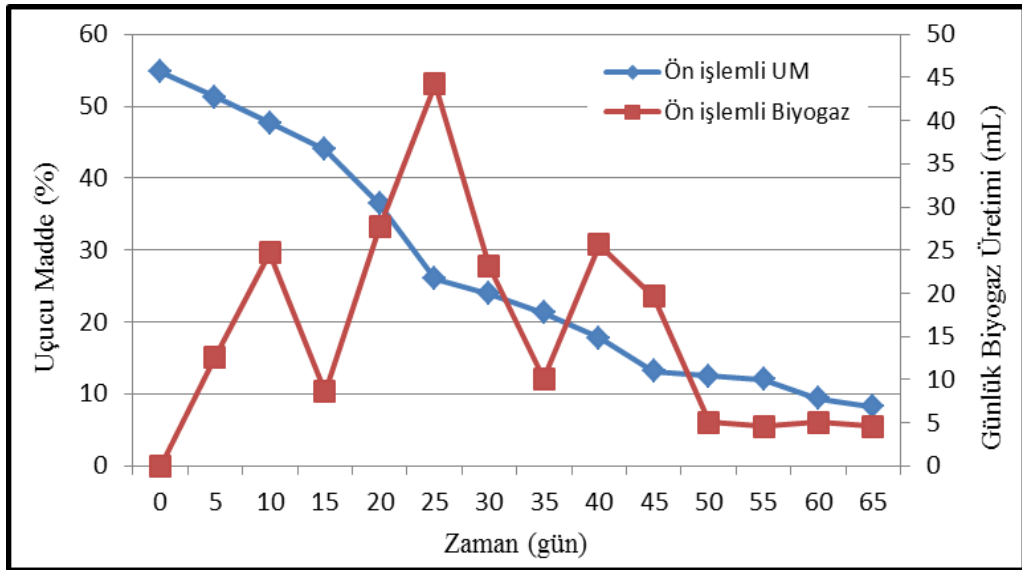
Şekil 4.69 ve Şekil 4.70 incelendiğinde, ön işlemsiz ve % 20 H_2SO_4 eklenerek 10 min ısıtıl MW ön işlem uygulanan numunede gram UM başına biyogaz üretim verimleri sırasıyla 301,72 mL biyogaz/g UM, 722,32 mL biyogaz/g UM olarak hesaplanmış, metan üretim verimleri ise 147,42 mL metan/g UM, 394,89 mL metan/g UM olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda biyogaz üretimi maksimum seviyede iken ön işlemsiz ve % 20 H_2SO_4 eklenerek 10 min ısıtıl MW ön işlem uygulanan numunede sırasıyla UM'nin % 51,48'i ve % 39,43'ünün kullanılarak biyogaza dönüştüğü hesaplanmıştır. Ön işlem uygulanmış numunede biyogaz üretimi 15. günde maksimum seviyeye geldiğinde UM derişiminde de belirgin bir giderim olmuştur. Diğer % 48,52 ve % 60,57'lik kısmında da UM miktarının zamanla azalarak biyogaz üretildiği görülmektedir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamurundaki UM'nin Zamanla Değişimi

35 °C'de 65 gün inkübatörde bekletilip her beş günde bir yapılan ölçümler sonucu arıtma çamuru ön işlemsiz örneğinin ve gram UM başına en yüksek biyogaz üretim veriminin sağlandığı kimyasal-ısıl MW ön işleminin UM ve biyogaz üretim miktarlarının karşılaştırılması ile ilgili bulgular Şekil 4.71 ve Şekil 4.72'de görülmektedir.



Şekil 4.71 Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurundaki UM'nin zamanla değişimi

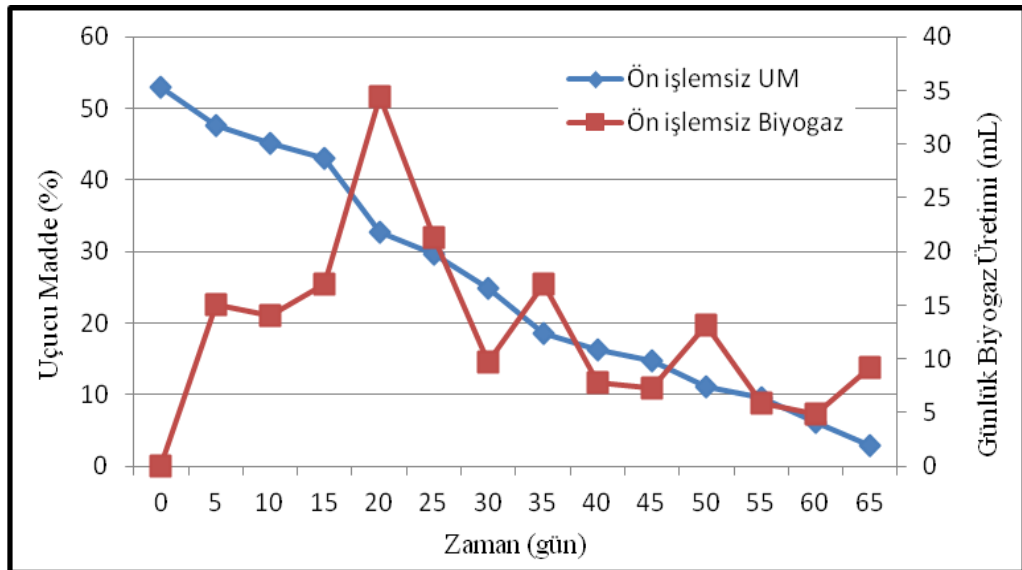


Şekil 4.72 % 20'lik H₂SO₄ ilave edilerek 30 min ısıl MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi

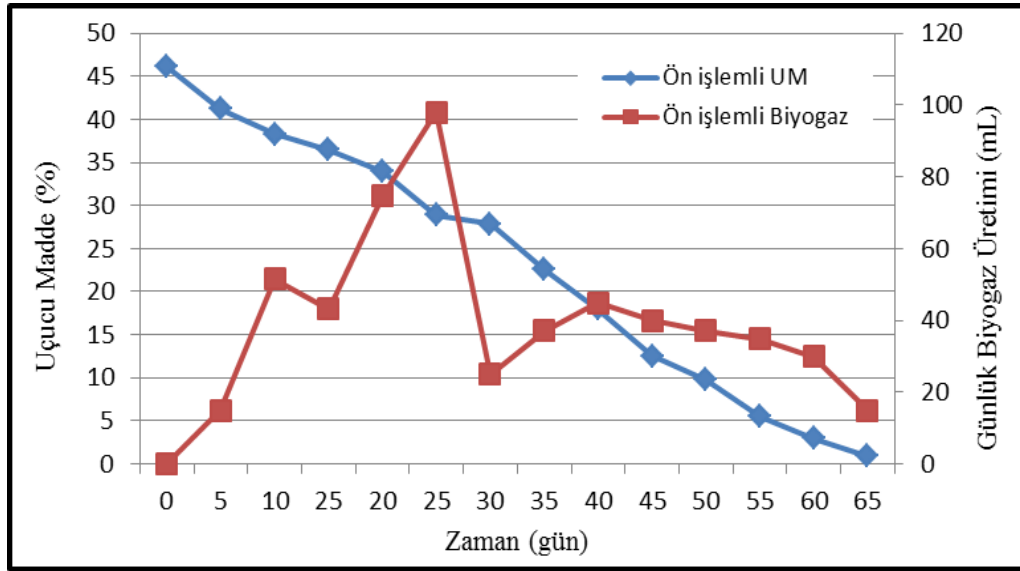
Şekil 4.71 ve Şekil 4.72 incelendiğinde, ön işlemsiz ve %20 H₂SO₄ eklenerek 30 min ısı MW ön işlem uygulanan numunelerdeki gram UM başına biyogaz üretim verimleri sırasıyla 214,10 mL biyogaz/g UM ve 385,21 mL biyogaz/g UM'dir. Metan üretim verimleri ise sırasıyla 94,65 mL metan/g UM ve 219,57 mL metan/g UM olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda biyogaz üretimi maksimum seviyede iken ön işlemsiz ve ön işlem uygulanmış numunelerdeki sırasıyla, UM'nin % 52,87'si ve % 52,53'ü kullanılarak biyogaza dönüştüğü hesaplanmıştır. Diğer geri kalan % 47,13'lik ve % 47,47'lik kısmında da biyogaz veriminde zamanla bir azalma görülmektedir. Ön işlemsiz numunede maksimum biyogaz üretimi 20. günde, ön işlemlili numunede ise 25. gündedir. Bu günlerden sonraki ölçümlerde UM nin kullanılma hızında azalma olduğu görülmektedir.

Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT Arıtma Çamuru Karışımındaki UM'nin Zamanla Değişimi

35 °C'de 65 gün inkübatörde bekletilip her beş günde bir yapılan ölçümler sonucu arıtma çamuru ön işlemsiz örneğinin ve gram UM başına en yüksek biyogaz üretim veriminin sağlandığı kimyasal-ısı MW ön işleminin UM ve biyogaz üretim miktarlarının karşılaştırılması ile ilgili bulgular Şekil 4.73 ve Şekil 4.74'te görülmektedir.



Şekil 4.73 Ön işlemsiz Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi ile Tokat Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi



Şekil 4.74 % 20'lik H_2SO_4 ilave edilerek 20 min ısırlı MW ön işlem uygulanmış Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki UM'nin zamanla değişimi

Şekil 4.73 ve Şekil 4.74 incelendiğinde, ön işlemsiz ve % 20 H_2SO_4 ilave edilerek 20 min ısırlı MW ön işlemde bekletilen numunede gram UM başına biyogaz üretim verimleri sırasıyla 463,34 mL biyogaz/g UM ve 691,52 mL biyogaz/g UM'dir. Metan üretim verimleri ise sırasıyla 209,66 mL metan/g UM ve 375,29 mL metan/g UM olarak bulunmuştur. Yapılan hesaplamalar sonucunda ön işlemsiz ve ön işlemlili numunelerdeki biyogaz üretimi maksimum seviyede iken sırasıyla, UM'nin % 38,30'u ve % 37,35'i kullanılarak biyogaza dönüştüğü hesaplanmıştır. Diğer % 61,7'lik ve % 62,65'lik kısmında da biyogaz veriminde zamanla bir azalma görülmektedir. Biyogaz üretimi esnasında kullanılan UM miktarında azalmalar açık şekilde görülmektedir.

4.10 Çalışmada Kullanılan Örneklerde UM Değişimleri Genel Değerlendirme

Numunelerin gram uçucu madde başına biyogaz ve metan üretim verimleri Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.15 Arıtma çamuru ön işlemlili ve ön işlemsiz numunelerine uygulanan anaerobik işlemler sonucu oluşan biyogaz ve metan üretim verimleri

	Ön İşlem Adı	Biyogaz Üretim Verimi ml biyogaz/gUM	Metan Üretim Verimi ml metan/gUM
Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	358,97	153,14
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	413,40	200,33
	Isıl HP (10 min)	417,20	197,34
	Isıl MW (10 min)	416,68	192,26
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	421,67	216,19
	Kimyasal-Isıl MW (% 15 NaOH+10 min)	382,58	217,65
Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	317,35	155,06
	Kimyasal (% 10 H ₂ SO ₄)	592,49	317,04
	Isıl HP (30 min)	705,90	366,64
	Isıl MW (10 min)	679,16	366,21
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+10min)	702,79	400,24
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +10 min)	718,07	392,57
Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru	Ön İşlemsiz	203,55	89,99
	Kimyasal (% 20 H ₂ SO ₄)	224,64	118,81
	Isıl HP (30 min)	309,09	164,84
	Isıl MW (10 min)	325,19	153,20
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 NaOH+30min)	288,96	156,21
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	268,91	153,28
% 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı	Ön İşlemsiz	463,34	209,66
	Kimyasal (%15 NaOH)	675,53	351,81
	Isıl HP (30 min)	679,47	297,27
	Isıl MW (30 min)	525,76	285,44
	Kimyasal-Isıl HP (% 20 H ₂ SO ₄ +30 min)	666,08	392,32
	Kimyasal-Isıl MW (% 20 H ₂ SO ₄ +20 min)	691,52	375,29

4.11 Arıtma Çamurlarının Sulu Fazlarından Üretilen Biyogaz Üretim Verimlerinin İstatistiki Açıdan Değerlendirilmesi

Arıtma çamuru sulu karışımlarına uygulanan ön işlemler ve 65 gün sonunda meydana gelen toplam biyogaz üretim verimleri istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular Çizelge 4.16-Çizelge 4.19 arasında verilmiştir.

Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamurunun ön işlemsiz ve ön işlemlili numunelerinde anaerobik çürüme neticesinde oluşan bir gram katı madde başına biyogaz üretim verimlerine varyans homojenlik testi uygulanmıştır. Varyans homojenlik testi sonuçlarında anlamlılık düzeyi $0,631 > 0,05$ olduğundan devamında varyans analizi uygulanmaya geçilmiştir. Daha sonra varyans analiz sonuçları önemli ($P < 0,001$) bulunduğundan Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamurundaki biyogaz üretim verimlerine uygulanan Duncan Testi sonuçları

Uygulanan Ön İşlem	Ortalama±Standart Sapma
Ön İşlemsiz	148,00 ± 1,743 ^d
% 20 H ₂ SO ₄	158,66 ± 2,170 ^c
10 min ısıt HP	188,12 ± 3,356 ^b
10 min ısıt MW	190,96 ± 1,182 ^b
% 20 H ₂ SO ₄ , 20 min ısıt HP	202,11 ± 2,290 ^a
% 15 NaOH, 10 min ısıt MW	154,71 ± 1,878 ^{cd}

Aynı harflerin anlamı, $P < 0,05$ 'de önemli bir farklılığın olmadığına göstergesidir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında, $P < 0,05$ önem seviyesine göre uygulanan farklı ön işlemler sonucunda üretilen biyogaz üretim verimleri arasında 10 min ısıt HP ve 10 min ısıt MW ön işlemlerinde fark olmadığı gözlenmiştir. Genel olarak ön işlem uygulamanın biyogaz miktarını artırdığı görülmektedir. En fazla biyogaz üretim verimi 202,11 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ile % 20 H₂SO₄ eklenerek 20 min ısıt HP ön işleminde bulunmuştur. Bunu, 190,96 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ile 10 min ısıt MW ön işlemini takip etmektedir.

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurunun ön işlemsiz ve ön işlemli numunelerine uygulanan anaerobik çürüme neticesinde oluşan bir gram katı madde başına biyogaz üretim verimlerine varyans homojenlik testi uygulanmıştır. Varyans homojenlik testi sonuçlarında anlamlılık düzeyi $0,516 > 0,05$ olduğundan devamında varyans analizi uygulanmaya geçilmiştir. Daha sonra varyans analiz sonuçları önemli ($P < 0,001$) bulunduğundan Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurundaki biyogaz üretim verimlerine uygulanan Duncan testi sonuçları

Uygulanan Ön İşlem	Ortalama±Standart Sapma
Ön İşlemsiz	$188,00 \pm 2,108^e$
%10 H ₂ SO ₄	$284,42 \pm 1,408^d$
30 min ısıt HP	$332,43 \pm 0,764^c$
10 min ısıt MW	$359,48 \pm 1,909^b$
%20 NaOH, 10 min ısıt HP	$358,60 \pm 1,444^b$
%20 H ₂ SO ₄ , 10 min ısıt MW	$396,34 \pm 2,859^a$

Aynı harflerin anlamı, $P < 0,05$ 'de önemli bir farklılığın olmadığını göstermektedir.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında, $P < 0,05$ önem seviyesine göre uygulanan farklı ön işlemler sonucunda üretilen biyogaz üretim verimleri arasında 10 min ısıt MW ve % 20 NaOH eklenerek 10 min ısıt HP ön işlemlerinde fark olmadığı gözlenmiştir. Genel olarak ön işlem uygulamanın biyogaz miktarını artırdığı görülmektedir. En fazla biyogaz üretim verimi 396,34 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ile % 20 H₂SO₄ eklenerek 10 min ısıt MW ön işleminde bulunmuştur.

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurunun ön işlemsiz ve ön işlemli numunelerine uygulanan anaerobik çürüme neticesinde oluşan bir gram katı madde başına biyogaz üretim verimlerine varyans homojenlik testi uygulanmıştır. Varyans homojenlik testi sonuçlarında anlamlılık düzeyi $0,849 > 0,05$ olduğundan devamında varyans analizi uygulanmaya geçilmiştir. Daha sonra varyans analiz sonuçları önemli ($P < 0,001$) bulunduğundan Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18 Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurundaki biyogaz üretim verimlerine uygulanan Duncan testi sonuçları

Uygulanan Ön İşlem	Ortalama±Standart Sapma
Ön İşlemsiz	99,75 ± 2,100 ^e
% 20 H ₂ SO ₄	118,10 ± 1,196 ^d
30 min ısıt HP	177,95 ± 1,483 ^a
10 min ısıt MW	153,58 ± 2,435 ^b
% 20 NaOH, 30 min ısıt HP	148,86 ± 1,204 ^c
% 20 H ₂ SO ₄ , 30 min ısıt MW	179,28 ± 1,478 ^a

Aynı harflerin anlamı, P<0,05’de önemli bir farklılığın olmadığıdır.

Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında, P<0,05 önem seviyesine göre uygulanan 30 min ısıt HP (177,95 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) ile % 20 H₂SO₄ eklenerek 30 min ısıt MW (179,28 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM) ön işlemleri sonucunda üretilen biyogaz üretim verimleri arasında fark olmadığı gözlenmiştir.

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımının ön işlemsiz ve ön işlemlili numunelerine uygulanan anaerobik çürüme neticesinde oluşan bir gram katı madde başına biyogaz üretim verimlerine varyans homojenlik testi uygulanmıştır. Varyans homojenlik testi sonuçlarında anlamlılık düzeyi 0,508>0,05 olduğundan devamında varyans analizi uygulanmaya geçilmiştir. Daha sonra varyans analiz sonuçları önemli (P<0,001) bulunduğundan Duncan çoklu karşılaştırma testi uygulanmıştır (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımındaki biyogaz üretim verimlerine uygulanan Duncan testi sonuçları

Uygulanan Ön İşlem	Ortalama±Standart Sapma
Ön İşlemsiz	178,93 ± 1,455 ^e
% 15 NaOH	238,83 ± 1,207 ^d
30 min ısıt HP	282,69 ± 1,438 ^b
30 min ısıt MW	264,31 ± 0,609 ^c
% 20 H ₂ SO ₄ , 30 min ısıt HP	284,74 ± 0,613 ^b
% 20 H ₂ SO ₄ , 20 min ısıt MW	294,02 ± 1,298 ^a

Aynı harflerin anlamı, P<0,05’de önemli bir farklılığın olmadığıdır.

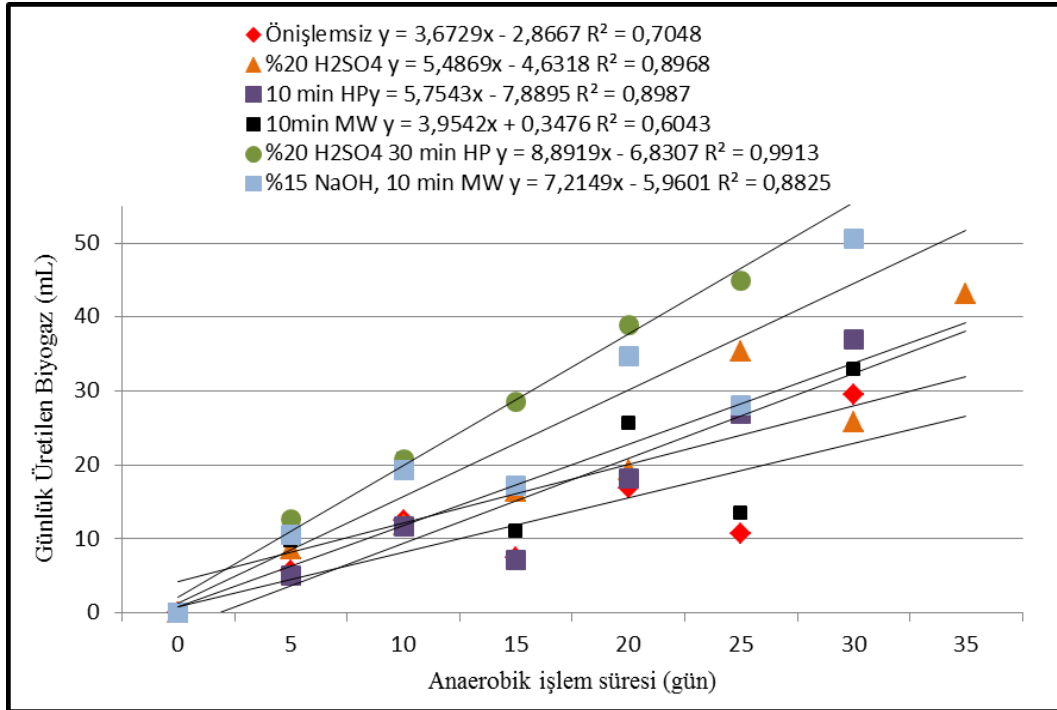
Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarında, $P<0,05$ önem seviyesine göre uygulanan 30 min ısıt HP ve % 20 H_2SO_4 eklenerek 30 min ısıt HP ön işlemleri sonucunda üretilen biyogaz üretim verimleri arasında fark olmadığı gözlenmiştir. Genel olarak ön işlem uygulamanın biyogaz miktarını artırdığı görülmektedir. En fazla biyogaz üretim verimi 294,02 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ile % 20 H_2SO_4 eklenerek 20 min ısıt MW ön işleminde bulunmuştur.

5. MODELLEME

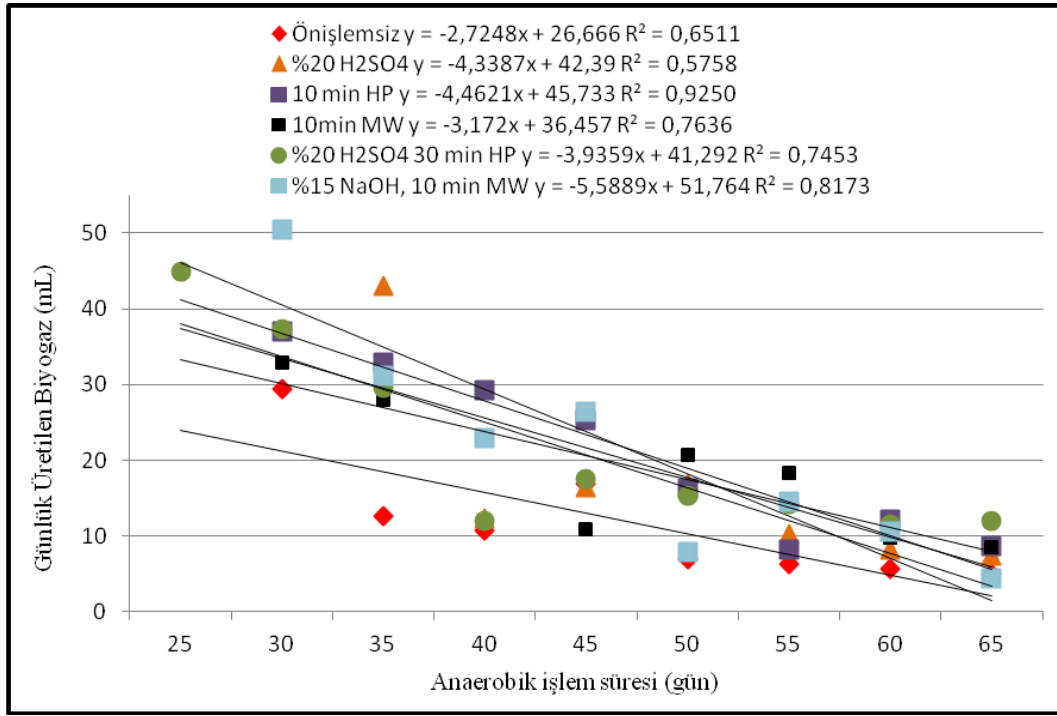
Arıtma çamuru numunelerine uygulanan ön işlemler sonucunda 5'er gün arayla ölçülen günlük biyogaz miktarları, *SigmoPlot 10* programı yardımıyla üç farklı modele uygulanmıştır. Bunlar doğrusal, üstel azalma-üstel artma ve Gaussian modelleridir. 65 gün sonunda oluşan toplam kümülatif miktarları için ise; maksimum üstel artış ve Gompertz modelleri kullanılmıştır. Anaerobik işlem sonucunda bulunan biyogaz miktarlarının modellere uygulanmasının sonuçları ve değerlendirilmesi aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

5.1 Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT Arıtma Çamurundan Üretilen Biyogaz Miktarlarının Modellenmesi

Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru artan ve azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrileri Şekil 5.1(a) ve Şekil 5.1(b)'de verilmiştir.

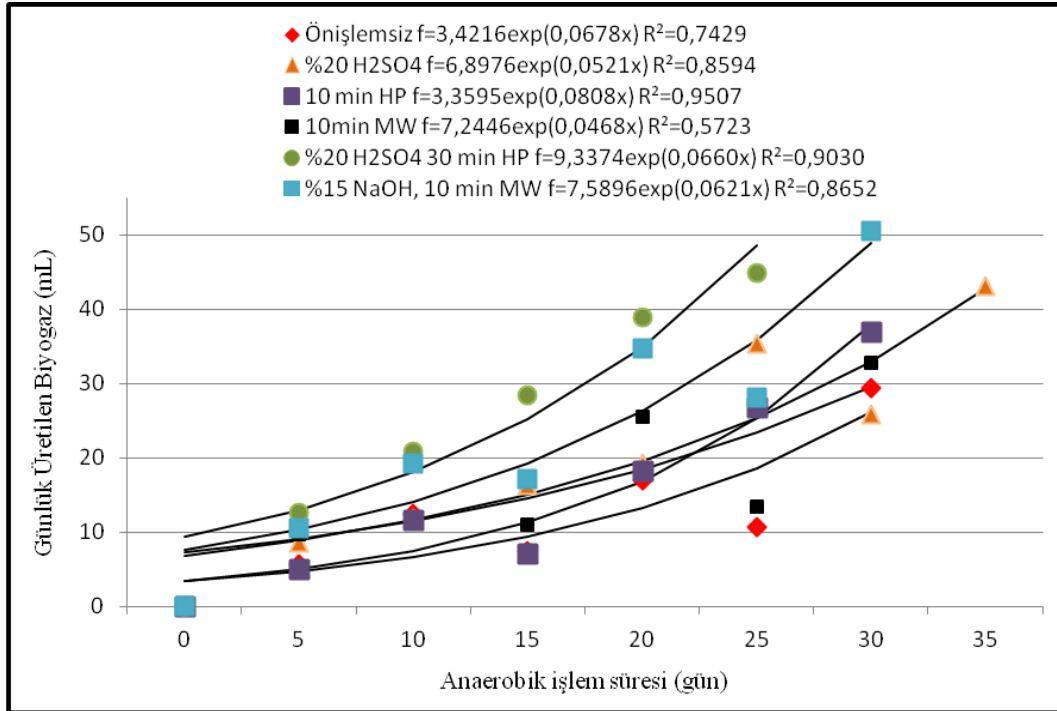


Şekil 5.1 (a) Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi

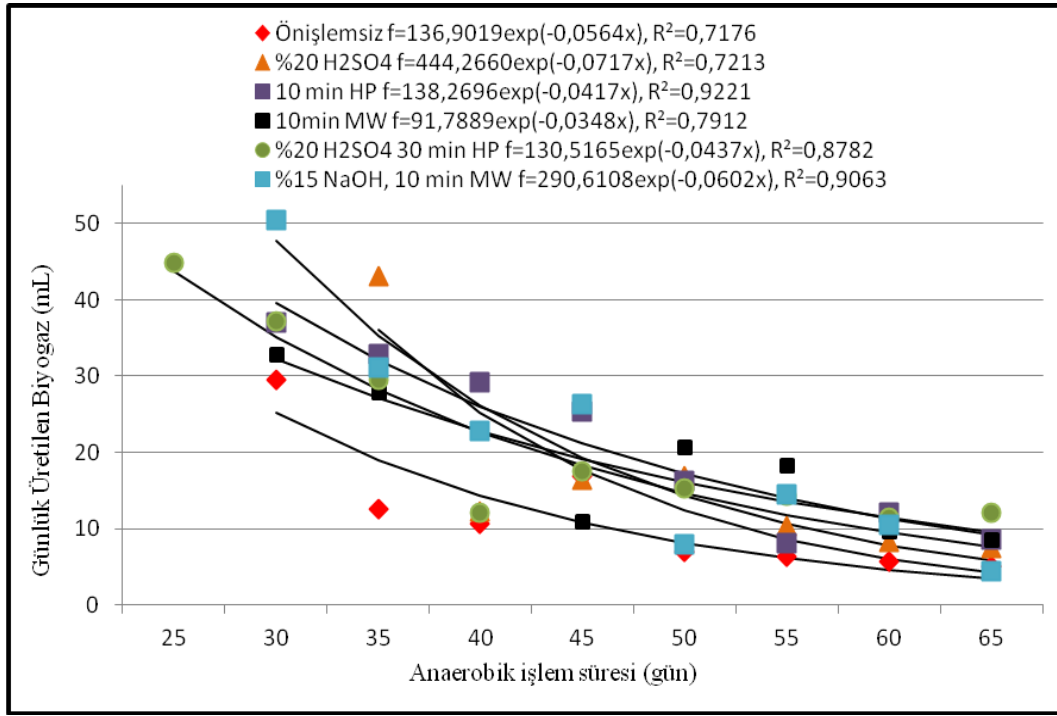


Şekil 5.1 (b) Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi

Artan ve azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi Şekil 5.2(a) ve Şekil 5.2(b)'de verilmiştir.

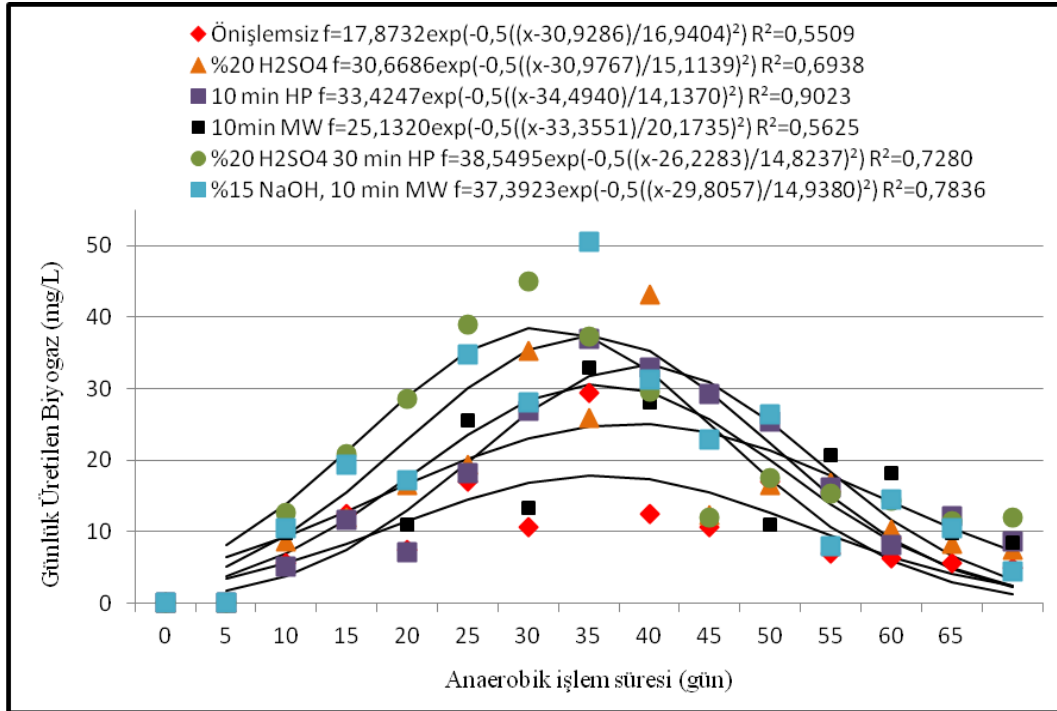


Şekil 5.2 (a) Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi



Şekil 5.2 (b) Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi

Ön işlemsiz ve ön işlemlili numunelerdeki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3 Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazındaki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi

Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz numunelerindeki biyogaz üretim oranlarının *Doğrusal, Üstel ve Gaussian Modelleri* şekillerde sırasıyla verilmiştir. Bunların R^2 (korelasyon katsayısı) değerlerini, ön işlemsiz ve her ön işlem için ayrı ayrı değerlendirecek olursak; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisindeki; ön işlemsiz numune için, R^2 0,6511-0,7048 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisindeki; ön işlemsiz numune için, R^2 0,7176-0,7429 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki ön işlemsiz numune için R^2 değeri, 0,5509'dur. Sonuçlara bakıldığında, ön işlemsiz numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

% 20 H_2SO_4 kullanılarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,5758-0,8968 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,7213-0,8594 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,6938'dir. Sonuçlara bakıldığında, % 20 H_2SO_4 kimyasalı kullanılarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

10 min ısıt HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,8987-0,9250 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,9221-0,9507 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,9023'dür. Sonuçlara bakıldığında, 10 min ısıt HP uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

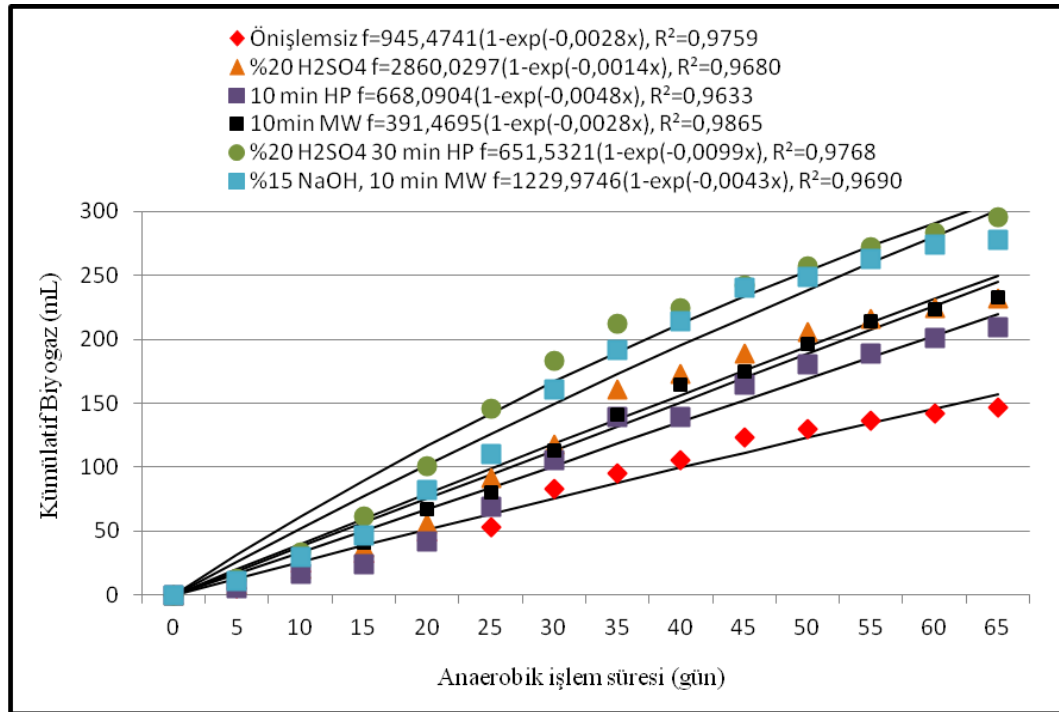
10 min ısıt MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,6043-0,7636 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,5723-0,7912 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,5625'dir. Sonuçlara bakıldığında, 10 min ısıt MW uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

% 20 H_2SO_4 ilave edilerek 20 min ısıt HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,7453-0,9913 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,8782-0,9030 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,7280'dir. Sonuçlara bakıldığında, % 20 H_2SO_4 ilave edilerek 20 min ısıt HP uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

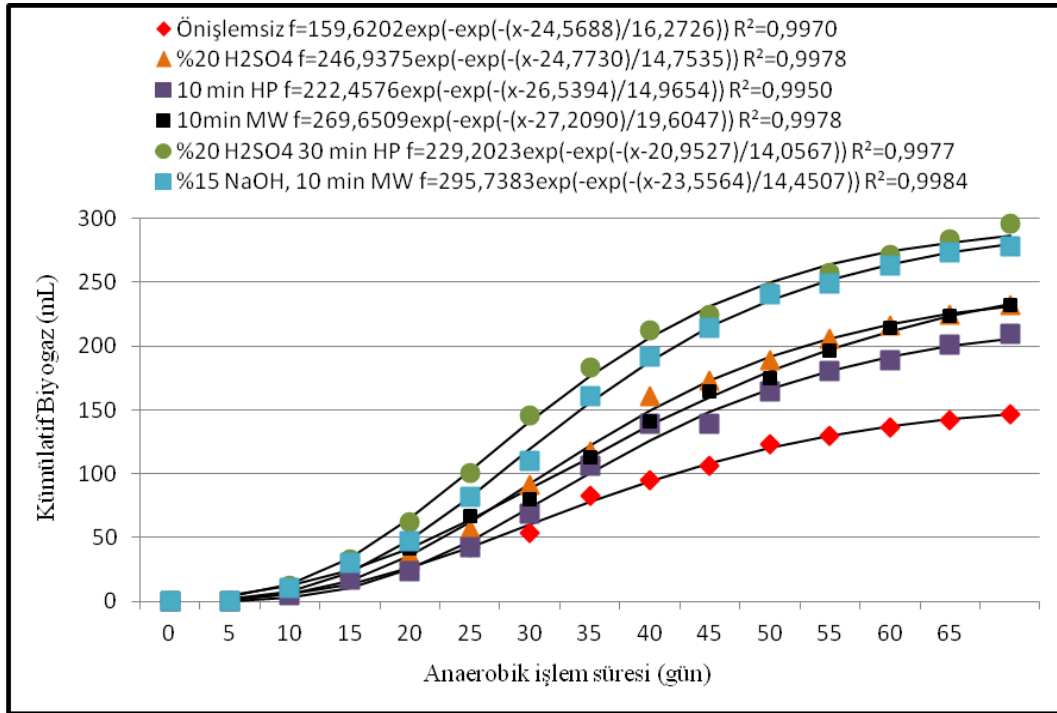
% 15 NaOH ilave edilerek 10 min ısıtıl MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,8173-0,8825 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,8652-0,9063 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,7836'dır. Sonuçlara bakıldığında, % 15 NaOH ilave edilerek 10 min ısıtıl MW uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; meyve suyu sanayi arıtma çamurunda üretilen biyogaz miktarlarına uygulanan üç farklı modellemeden sonra grafiklerden çıkan R^2 sonuçlarına göre üstel eğri modelinin daha uygun olduğu söylenebilir.

Kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi Şekil 5.4'de, Gompertz eğrisi Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.4 Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi



Şekil 5.5 Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan Gompertz eğrisi

Kümülatif biyogazla ilgili olarak uygulanan maksimum üstel artış eğrisinde (Şekil 5.4) ön işlemsiz numunede R^2 değeri 0,9759'dur. Diğer uygulanan model Gompertzde (Şekil 5.5) ise ön işlemsiz numunede R^2 değeri 0,9970'dir. Görüldüğü üzere Gompertz eğrisindeki R^2 değerleri, maksimum üstel artış eğrisindeki R^2 değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 20 H₂SO₄ kullanılarak yapılan ön işlem sonucunda; maksimum üstel artış eğrisinde R^2 değeri 0,9680'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri 0,9978'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

10 min ısı HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9633'tür. Gompertzde ise R^2 değeri 0,9950'dir. Sonuçlara baktığımızda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

10 min ısı MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9865'dir. Gompertzde ise R^2 değeri 0,9978'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 20 H₂SO₄ ilave edilerek 20 min ısı HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9768'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri

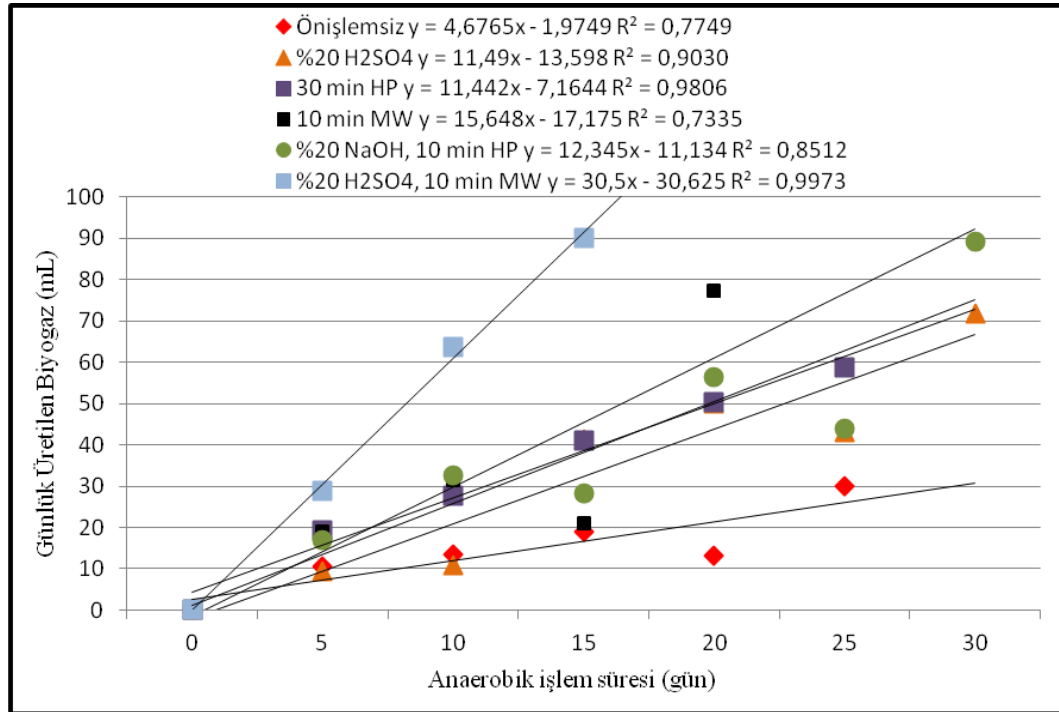
0,9977'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 15 NaOH ilave edilerek 10 min ısıtılabilir MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9690'dır. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri 0,9984'dür. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

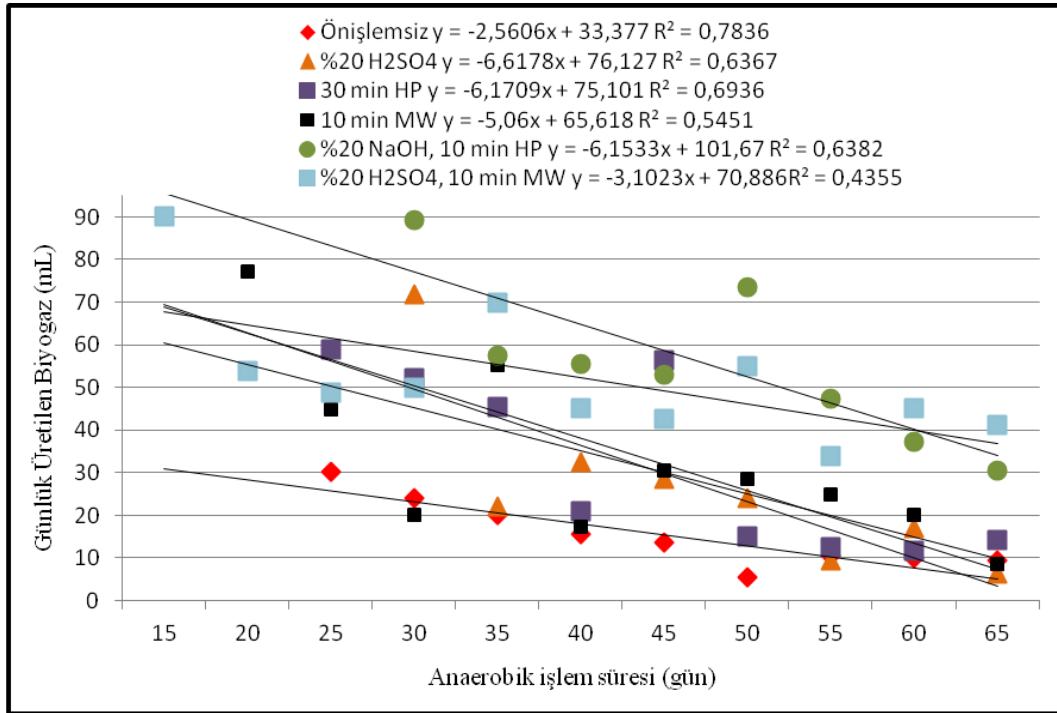
Sonuç olarak; meyve suyu sanayi arıtma çamuru kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu görülmektedir.

5.2 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamurundan Üretilen Biyogaz Miktarlarının Modellenmesi

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru artan ve azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrileri Şekil 5.6 (a) ve Şekil 5.6 (b)'de verilmiştir.

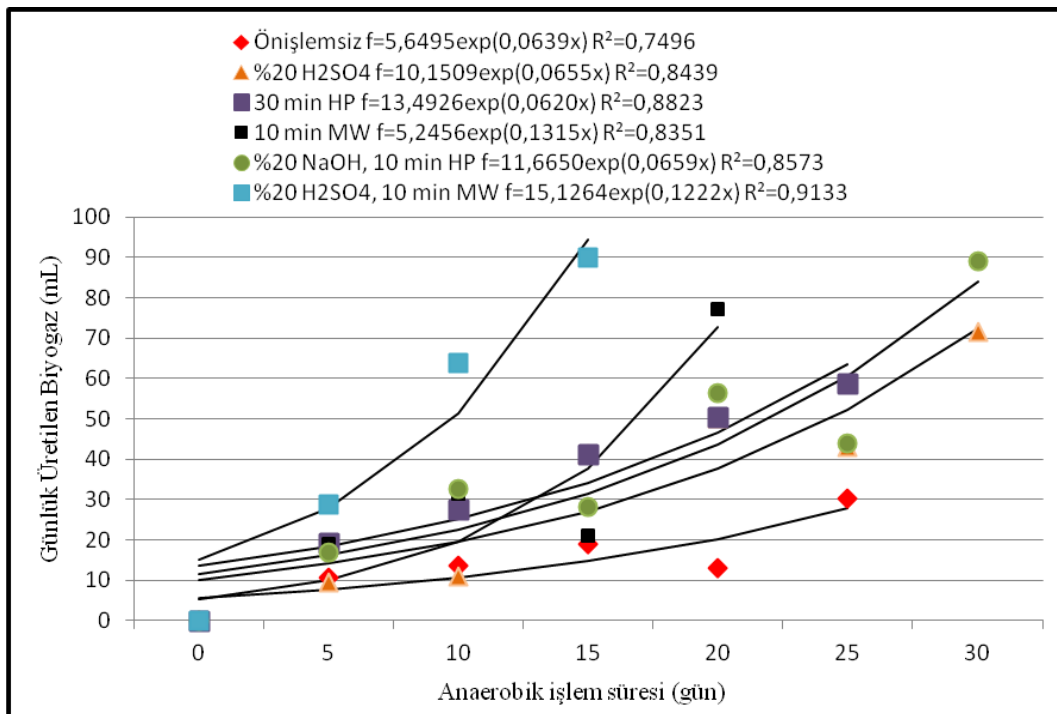


Şekil 5.6 (a) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi

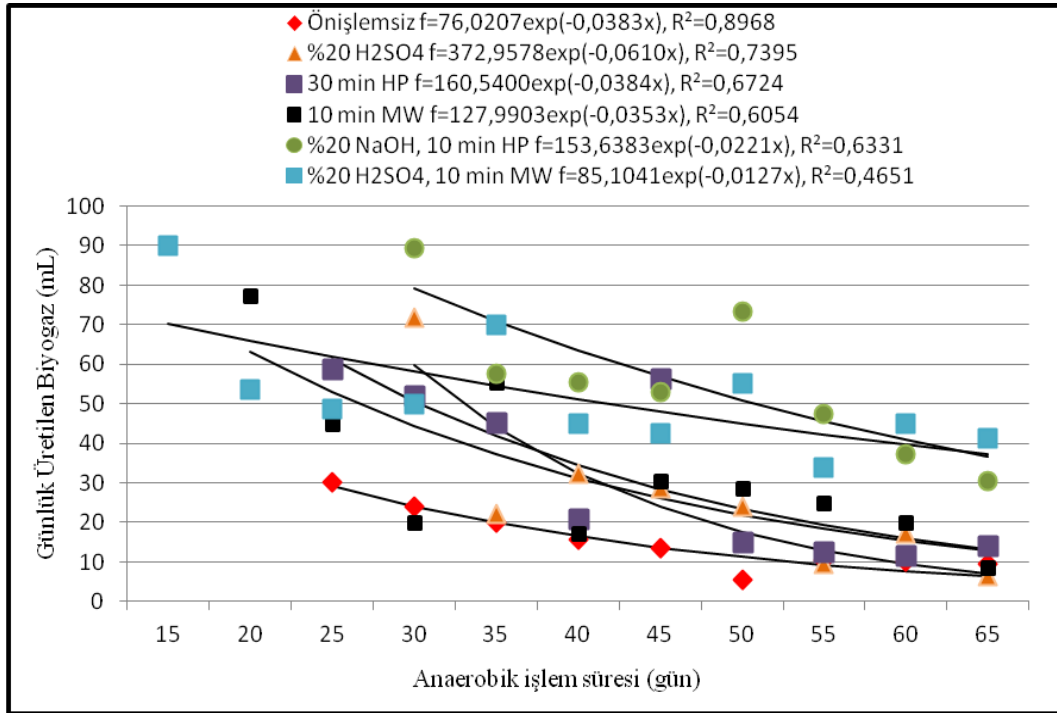


Şekil 5.6 (b) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi

Artan ve azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi Şekil 5.7 (a) ve Şekil 5.7 (b)'de verilmiştir.

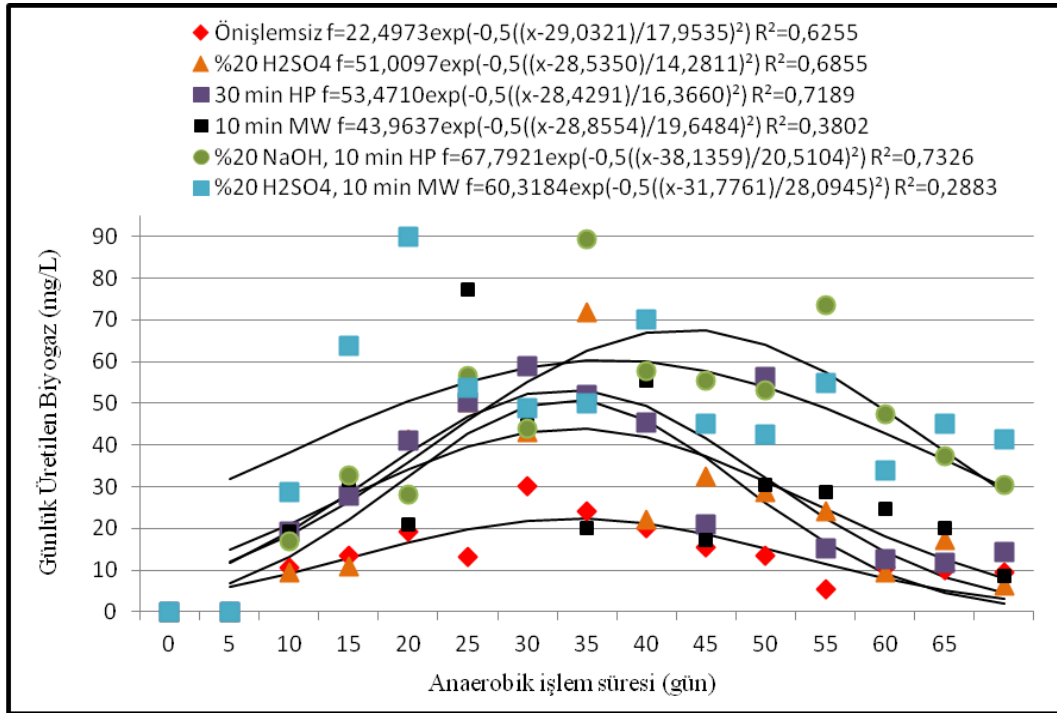


Şekil 5.7 (a) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi



Şekil 5.7 (b) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi

Ön işlemsiz ve ön işlemlili numunelerdeki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazındaki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz numunelerindeki biyogaz üretim oranlarının *Doğrusal, Üstel ve Gaussian Modelleri* şekillerde sırasıyla verilmiştir. Bunların R^2 (korelasyon katsayısı) değerlerini, ön işlemsiz ve her ön işlem için ayrı ayrı değerlendirecek olursak; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisindeki; ön işlemsiz numune için, R^2 0,7749-0,7836 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisindeki; ön işlemsiz numune için, R^2 0,7496-0,8968 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki ön işlemsiz numune için R^2 değeri, 0,6255'dir. Sonuçlara bakıldığında, ön işlemsiz numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

% 10 H_2SO_4 kullanılarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,6367-0,9030 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,7395-0,8439 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,6855'dir. Sonuçlara bakıldığında, % 10 H_2SO_4 kullanılarak yapılan ön işlemlili numune için doğrusal eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

30 min ısı HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,6936-0,9806 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,6724-0,8823 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,7189'dur. Sonuçlara göre, 30 min ısı HP uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için doğrusal eğri modelinin daha uygun olduğu söylenebilir.

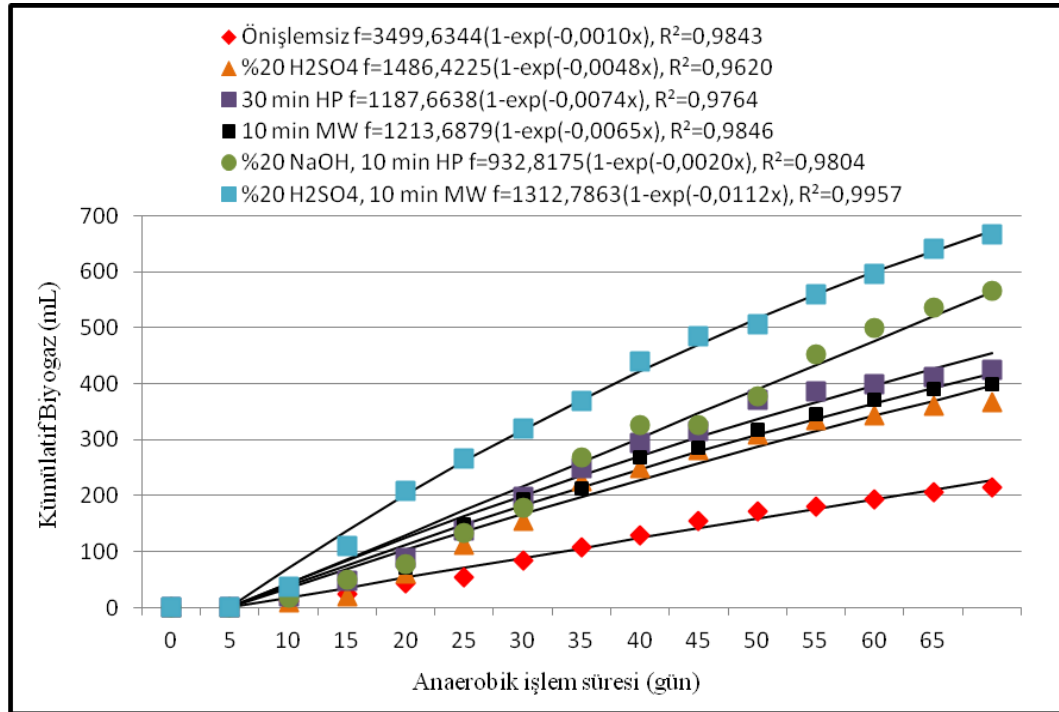
10 min ısı MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,5451-0,7335 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,6054-0,8351 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,3802'dir. Sonuçlara bakıldığında, 10 min ısı MW uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

% 20 NaOH ilave edilerek 10 min ısı HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,6382-0,8512 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,6331-0,8573 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,7326'dir. Sonuçlara bakıldığında, % 20 NaOH ilave edilerek 10 min ısı HP uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

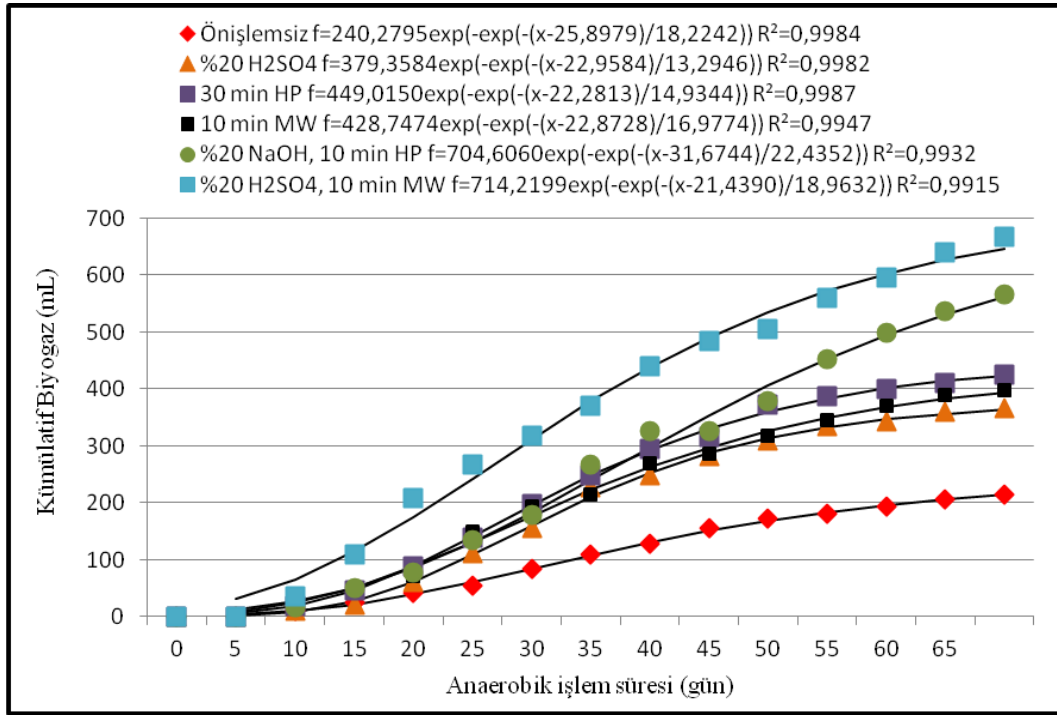
% 20 H₂SO₄ ilave edilerek 10 min ısıtılabilir MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R² değerleri 0,4355-0,9973 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R² değerleri 0,4651-0,9133 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R² değeri, 0,2883'dür. Sonuçlara bakıldığında, % 20 H₂SO₄ ilave edilerek 10 min ısıtılabilir MW uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için doğrusal eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurunda üretilen biyogaz miktarlarına uygulanan üç farklı modellemeden sonra grafiklerden çıkan R² sonuçlarına göre bazı uygulamalarda üstel eğri modelinin, bazılarında doğrusal eğri modelinin daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Herbir eğri için verilen modelin kullanılması daha iyi olacaktır.

Kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi Şekil 5.9'da, Gompertz eğrisi Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.9 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi



Şekil 5.10 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan Gompertz eğrisi

Kümülatif biyogazla ilgili olarak uygulanan maksimum üstel artış eğrisinde (Şekil 5.9) ön işlemsiz numunede R^2 değeri 0,9843'dür. Diğer uygulanan model Gompertzde (Şekil 5.10) ise ön işlemsiz numunede R^2 değeri 0,9984'dür. Görüldüğü üzere Gompertz eğrisindeki R^2 değerleri, maksimum üstel artış eğrisindeki R^2 değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 10 H₂SO₄ kullanılarak yapılan ön işlem sonucunda; maksimum üstel artış eğrisinde R^2 değeri 0,9620'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri 0,9982'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

30 min ısı HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9764'tür. Gompertzde ise R^2 değeri 0,9987'dir. Sonuçlara baktığımızda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

10 min ısı MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9846'dır. Gompertzde ise R^2 değeri 0,9947'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 20 NaOH ilave edilerek 10 min ısı HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9804'dür. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri

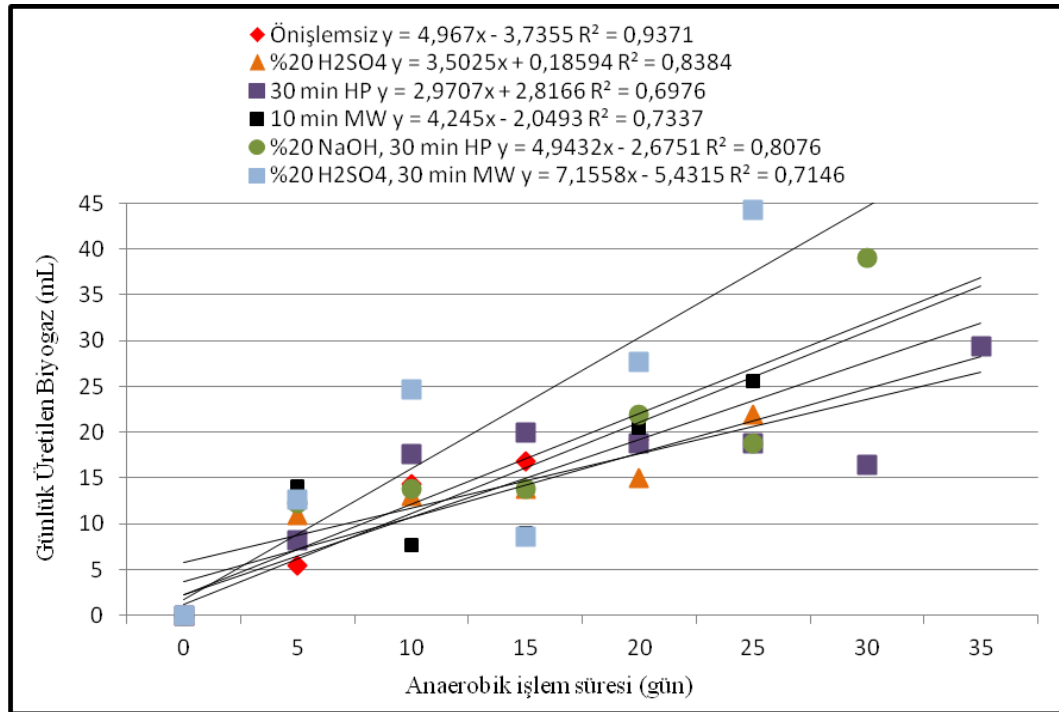
0,9932'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 20 H₂SO₄ ilave edilerek 10 min ısıtıl MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R² değeri 0,9957'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R² değeri 0,9915'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

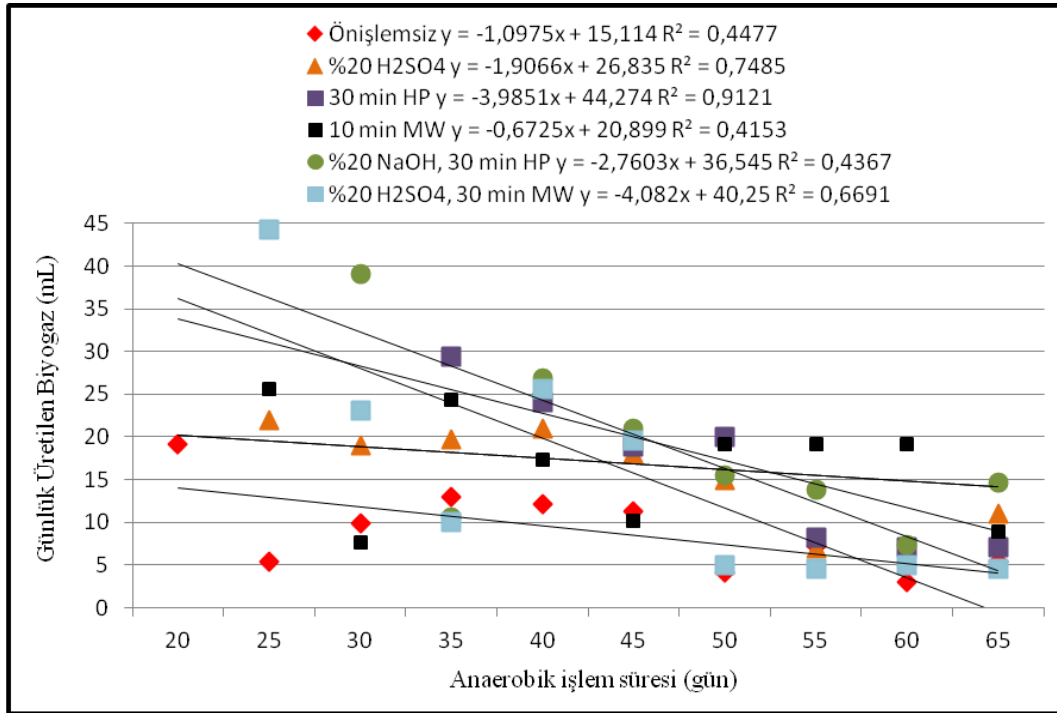
Sonuç olarak; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu görülmektedir.

5.3 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Sonrası Arıtma Çamurundan Üretilen Biyogaz Miktarlarının Modellenmesi

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru artan ve azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrileri Şekil 5.11 (a) ve Şekil 5.11 (b)'de verilmiştir.

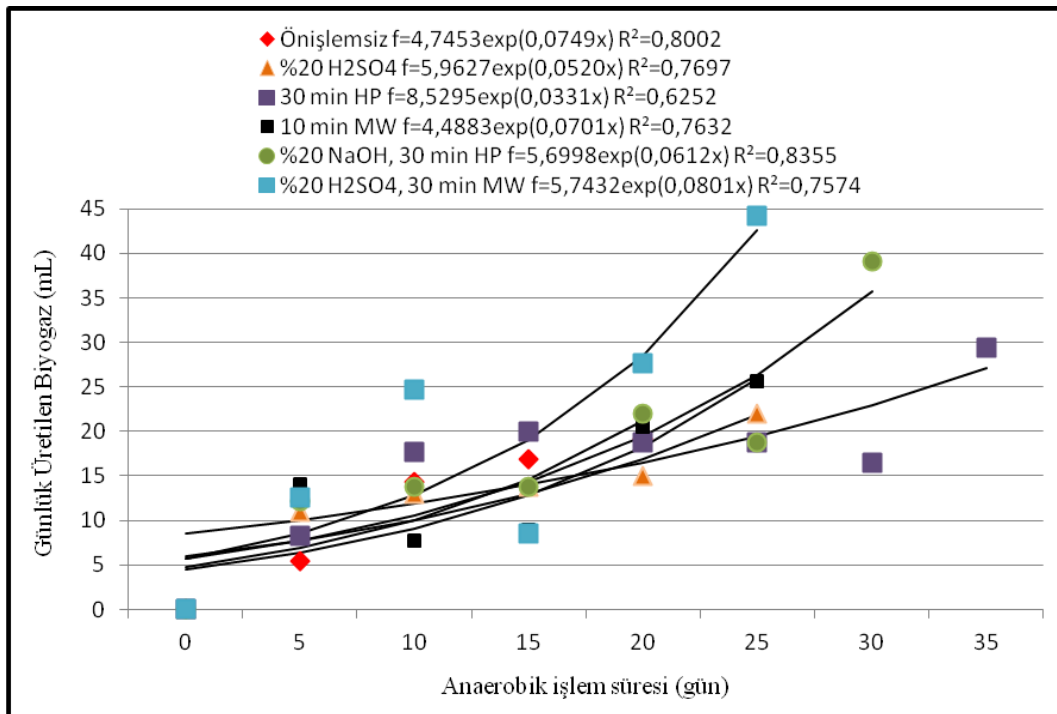


Şekil 5.11 (a) Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi

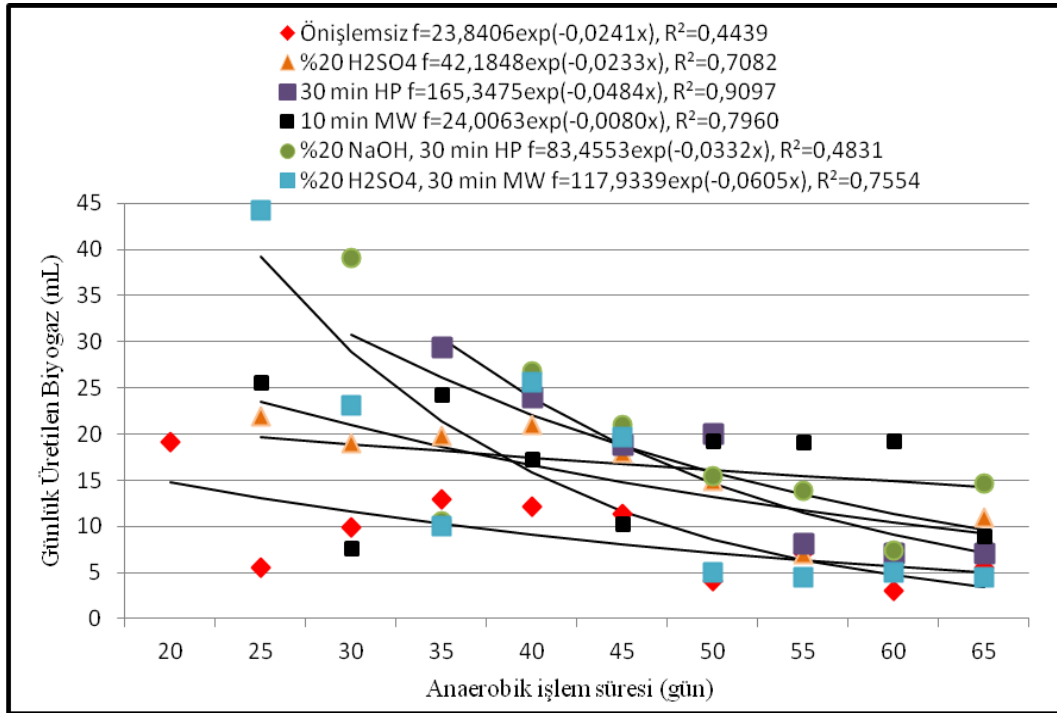


Şekil 5.11 (b) Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi

Artan ve azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi Şekil 5.12(a) ve Şekil 5.12(b)'de verilmiştir.

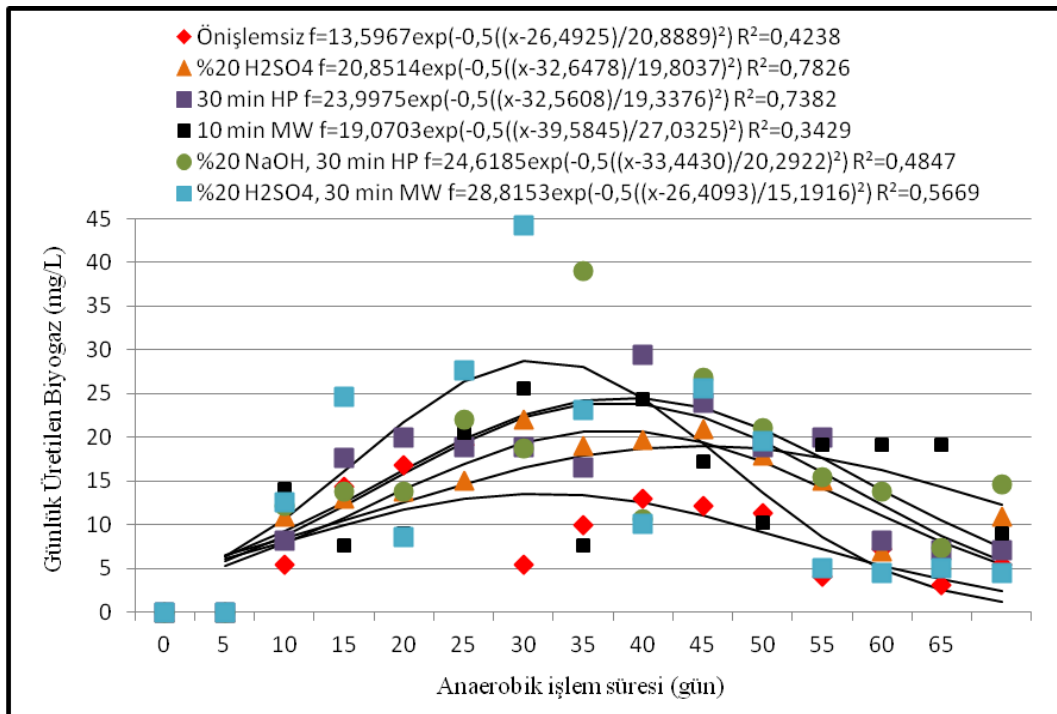


Şekil 5.12 (a) Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazının artan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi



Şekil 5.12 (b) Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazının azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi

Ön işlemsiz ve ön işlemlili numunelerdeki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi Şekil 5.13'de verilmiştir.



Şekil 5.13 Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazındaki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi

Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurunun ön işlemlili ve ön işlemsiz numunelerindeki biyogaz üretim oranlarının *Doğrusal, Üstel ve Gaussian Modelleri* şekillerde sırasıyla verilmiştir. Bunların R^2 (korelasyon katsayısı) değerlerini, ön işlemsiz ve her ön işlem için ayrı ayrı değerlendirecek olursak; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisindeki; ön işlemsiz numune için, R^2 0,4477-0,9371 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisindeki; ön işlemsiz numune için, R^2 0,4439-0,8002 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki ön işlemsiz numune için R^2 değeri, 0,4238'dir. Sonuçlara bakıldığında, ön işlemsiz numune için doğrusal eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

% 20 H_2SO_4 kullanılarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,7485-0,8384 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,7082-0,7697 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,7826'dır. Sonuçlara bakıldığında, % 20 H_2SO_4 kullanılarak yapılan ön işlemlili numune için doğrusal eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

30 min ısıllı HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,6976-0,9121 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,6252-0,9097 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,7382'dir. Sonuçlara bakıldığında, 30 min ısıllı HP uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için doğrusal eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

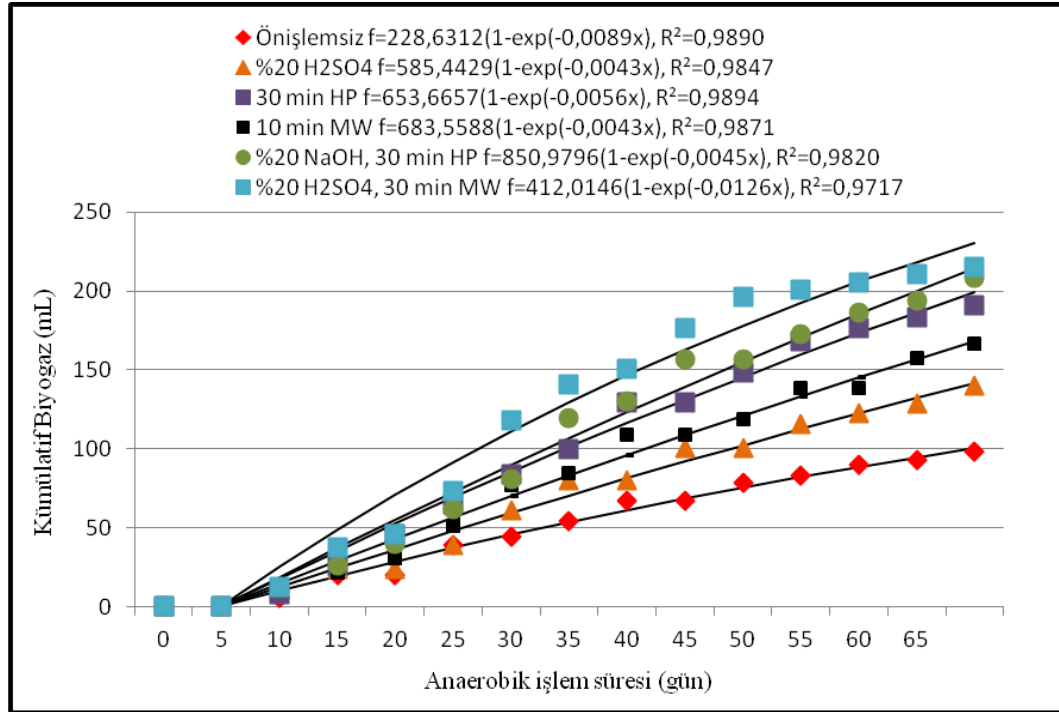
10 min ısıllı MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,4153-0,7337 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,7632-0,7960 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,3429'dur. Sonuçlara bakıldığında, 10 min ısıllı MW uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

% 20 NaOH ilave edilerek 30 min ısıllı HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,4367-0,8076 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,4831-0,8355 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,4847'dir. Sonuçlara bakıldığında, % 20 NaOH ilave edilerek 30 min ısıllı HP uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

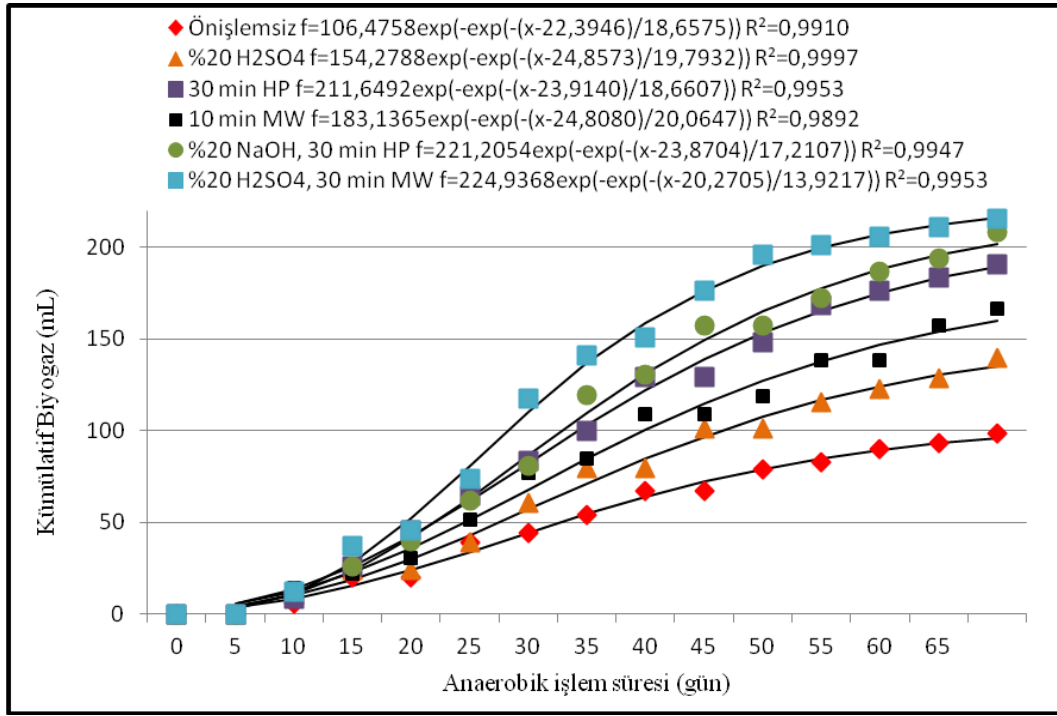
% 20 H₂SO₄ ilave edilerek 30 min ısıtıl MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R² değerleri 0,6691-0,7146 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R² değerleri 0,7554-0,7574 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R² değeri, 0,5669'dur. Sonuçlara bakıldığında, % 20 H₂SO₄ ilave edilerek 30 min ısıtıl MW uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurunda üretilen biyogaz miktarlarına uygulanan üç farklı modellemeden sonra grafiklerden çıkan R² sonuçlarına göre bazı uygulamalarda üstel eğri modelinin, bazılarında doğrusal eğri modelinin kullanılması daha iyi olacaktır. Herbir eğri için verilen modelin kullanılması daha iyi sonuç verecektir.

Kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi Şekil 5.14'de, Gompertz eğrisi Şekil 5.15'de verilmiştir.



Şekil 5.14 Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi



Şekil 5.15 Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan Gompertz eğrisi

Kümülatif biyogazla ilgili olarak uygulanan maksimum üstel artış eğrisinde (Şekil 5.14) ön işlemlenmemiş numunede R^2 değeri 0,9890'dır. Diğer uygulanan model Gompertzde (Şekil 5.15) ise ön işlemlenmemiş numunede R^2 değeri 0,9910'dur. Görüldüğü üzere Gompertz eğrisindeki R^2 değerleri, maksimum üstel artış eğrisindeki R^2 değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 20 H₂SO₄ kullanılarak yapılan ön işlem sonucunda; maksimum üstel artış eğrisinde R^2 değeri 0,9847'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri 0,9997'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

30 min ısıtıl HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9894'tür. Gompertzde ise R^2 değeri 0,9953'dür. Sonuçlara baktığımızda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

10 min ısıtıl MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9871'dir. Gompertzde ise R^2 değeri 0,9892'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 20 NaOH ilave edilerek 30 min ısıtıl HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9820'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri

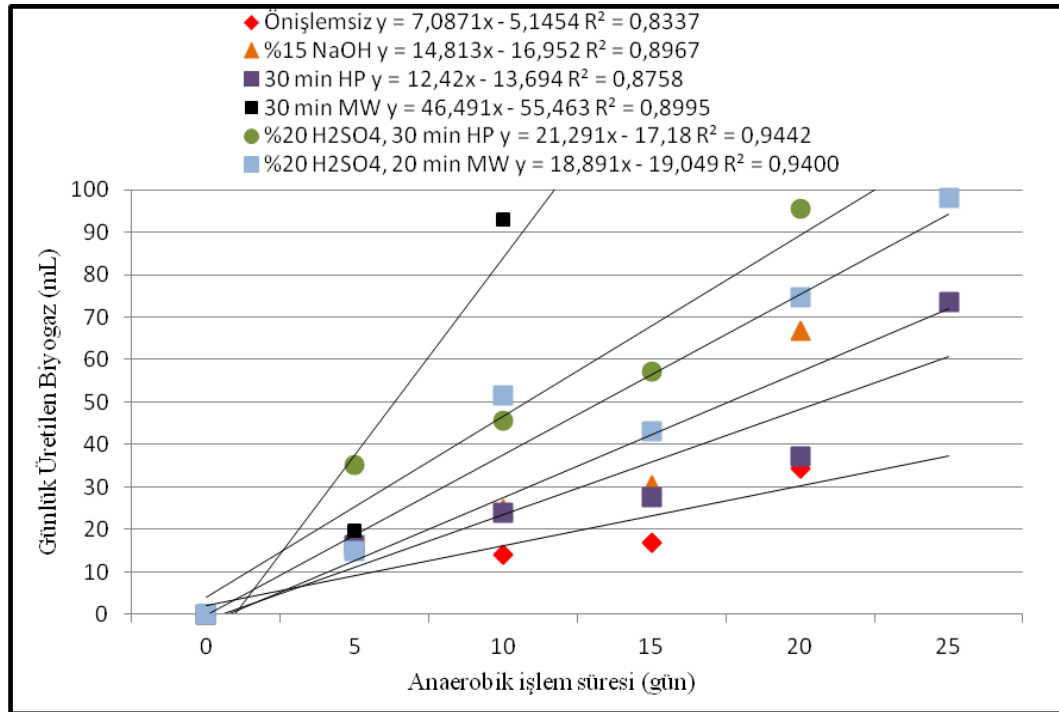
0,9947'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 20 H₂SO₄ ilave edilerek 30 min ısıtılacak MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R² değeri 0,9717'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R² değeri 0,9953'dür. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

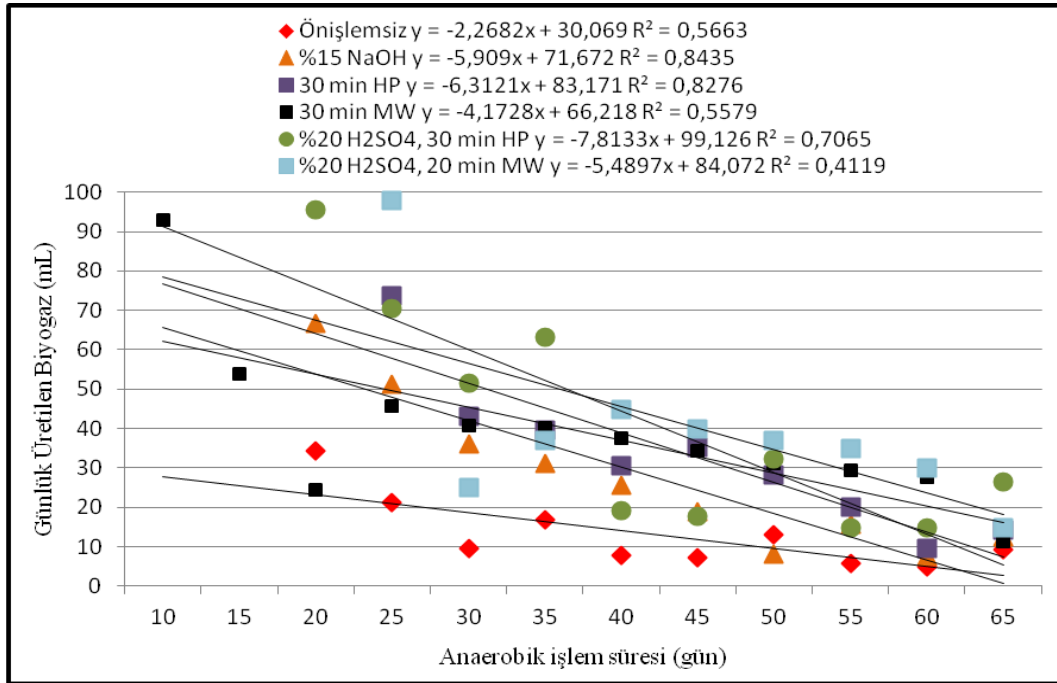
Sonuç olarak; Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu görülmektedir.

5.4 Tokat AAT Biyogaz Ünitesi Öncesi Arıtma Çamuru İle Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT Arıtma Çamuru Karışımından Üretilen Biyogaz Miktarlarının Modellenmesi

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru karışımının artan ve azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrileri Şekil 5.16 (a) ve Şekil 5.16 (b)'de verilmiştir.

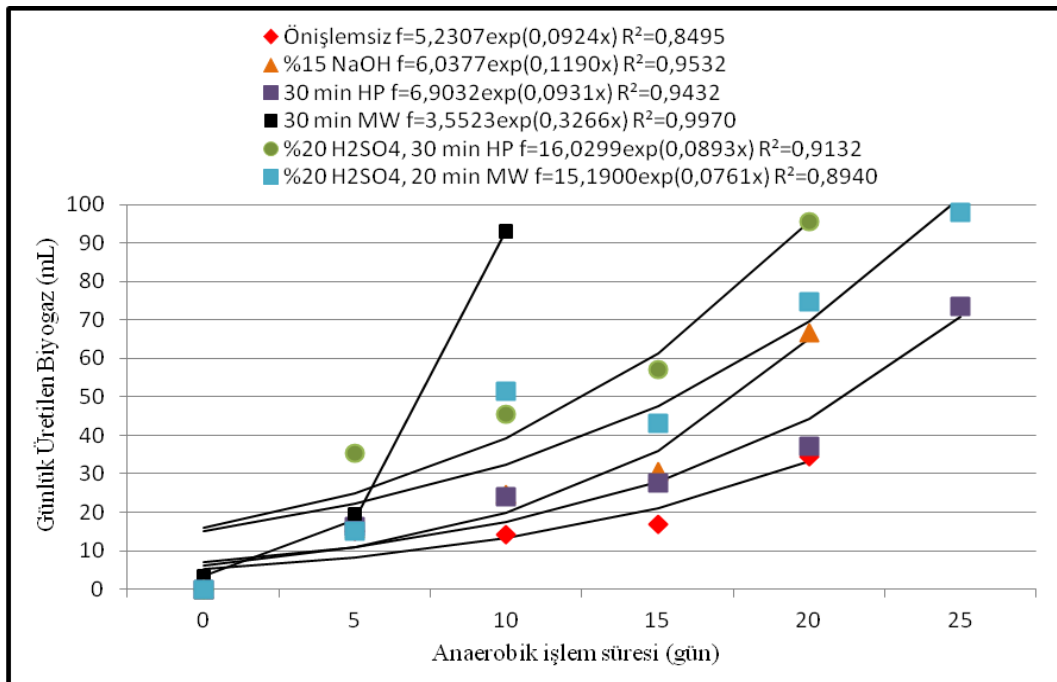


Şekil 5.16 (a) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki artan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi

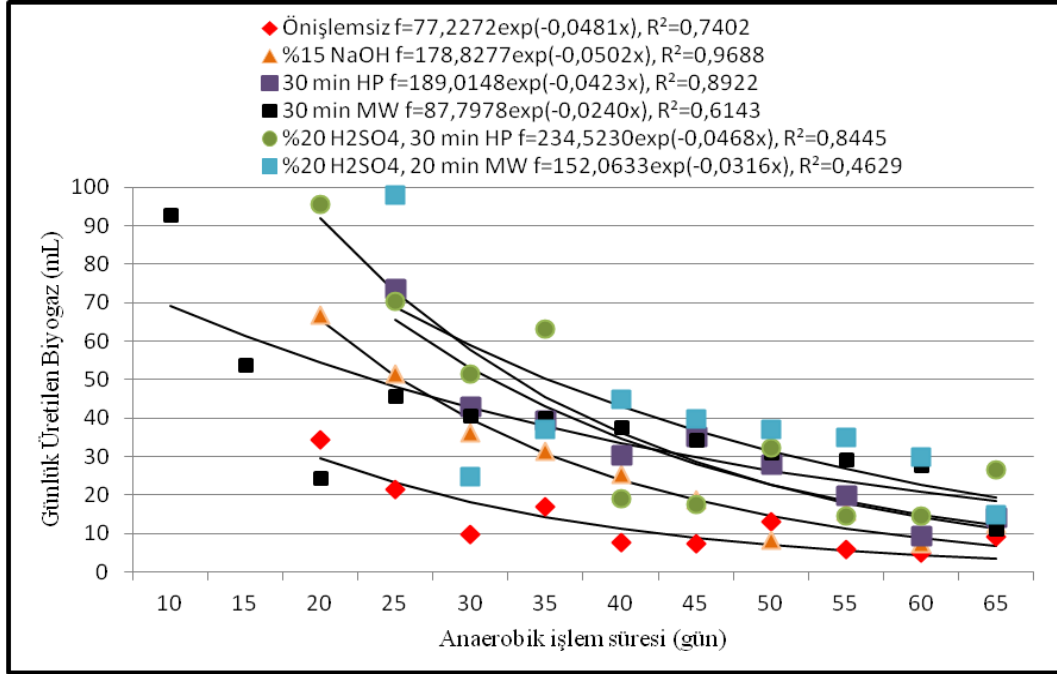


Şekil 5.16 (b) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisi

Artan ve azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi Şekil 5.17 (a) ve Şekil 5.17 (b)'de verilmiştir.

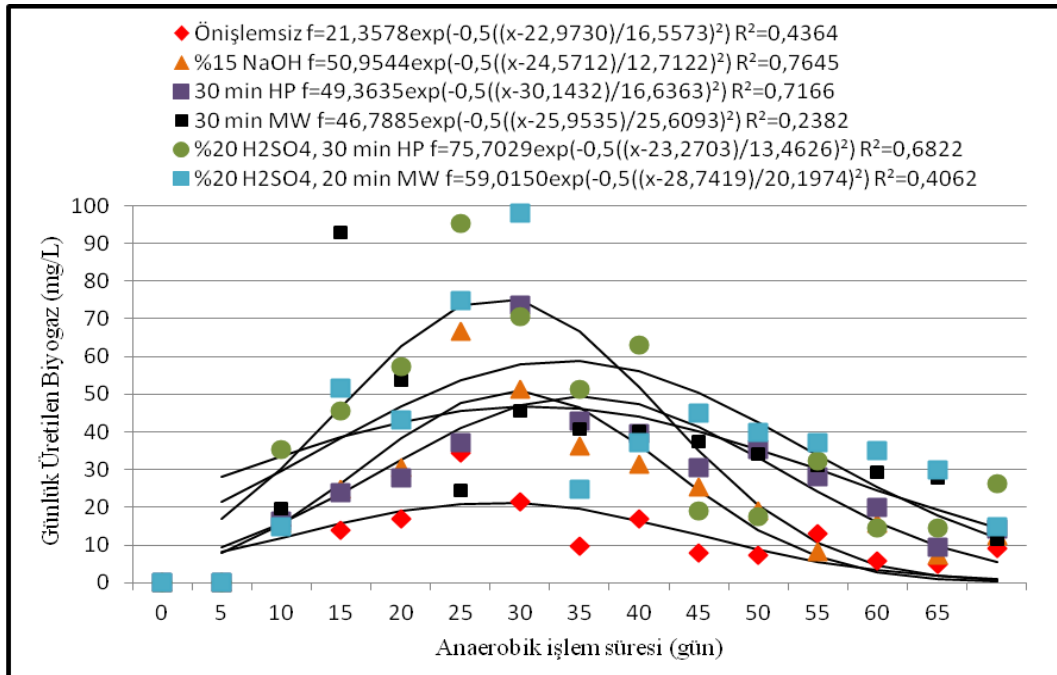


Şekil 5.17 (a) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki artan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi



Şekil 5.17 (b) Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisi

Ön işlemler ve ön işlemler numunelerdeki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki biyogaz üretiminin Gaussian eğrisi

Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru karışımının ön işlemlili ve ön işlemsiz numunelerindeki biyogaz üretim oranlarının *Doğrusal, Üstel ve Gaussian Modelleri* şekillerde sırasıyla verilmiştir. Bunların R^2 (korelasyon katsayısı) değerlerini, ön işlemsiz ve her ön işlem için ayrı ayrı değerlendirecek olursak; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisindeki; ön işlemsiz numune için, R^2 0,5663-0,8337 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisindeki; ön işlemsiz numune için, R^2 0,7402-0,8495 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki ön işlemsiz numune için R^2 değeri, 0,4364'dür. Sonuçlara bakıldığında, ön işlemsiz numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

% 15 NaOH kullanılarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,8435-0,8967 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,9532-0,9688 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,7645'dir. Sonuçlara bakıldığında, % 15 NaOH kullanılarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

30 min ısıt HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,8276-0,8758 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,8922-0,9432 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,7166'dır. Sonuçlara bakıldığında, 30 min ısıt HP uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

30 min ısıt MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,5579-0,8995 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,6143-0,9970 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,2382'dir. Sonuçlara bakıldığında, 30 min ısıt MW uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için üstel eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

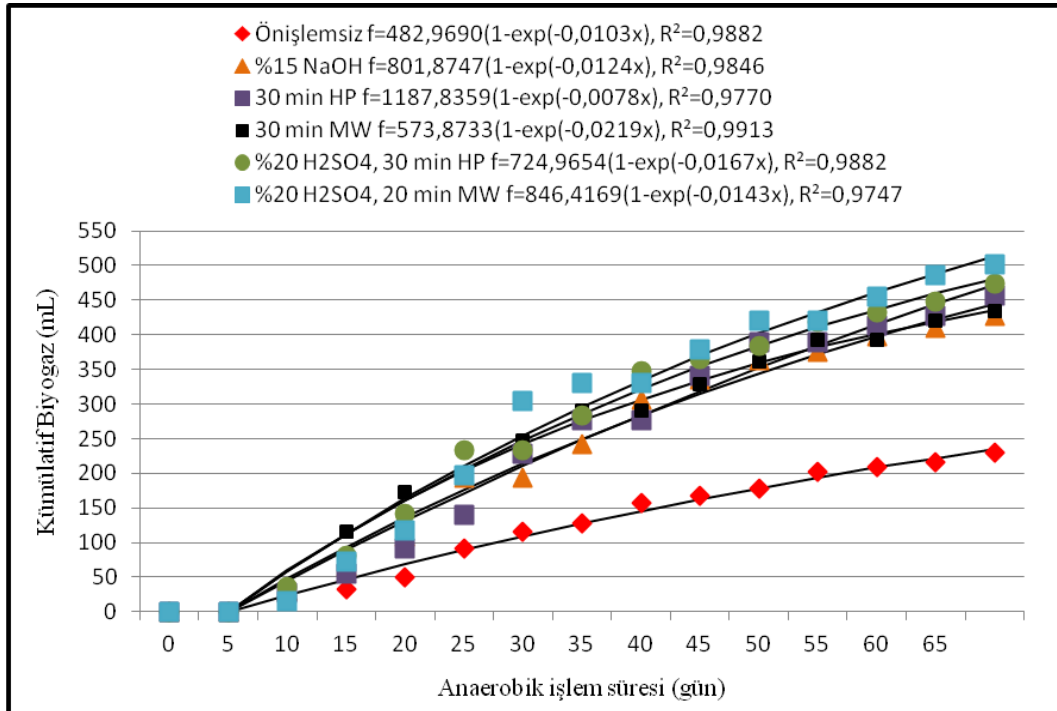
% 20 H_2SO_4 ilave edilerek 30 min ısıt HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R^2 değerleri 0,7065-0,9442 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R^2 değerleri 0,8445-0,9132 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R^2 değeri, 0,6822'dir. Sonuçlara bakıldığında, % 20 H_2SO_4 ilave edilerek 30 min ısıt HP

uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için doğrusal eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

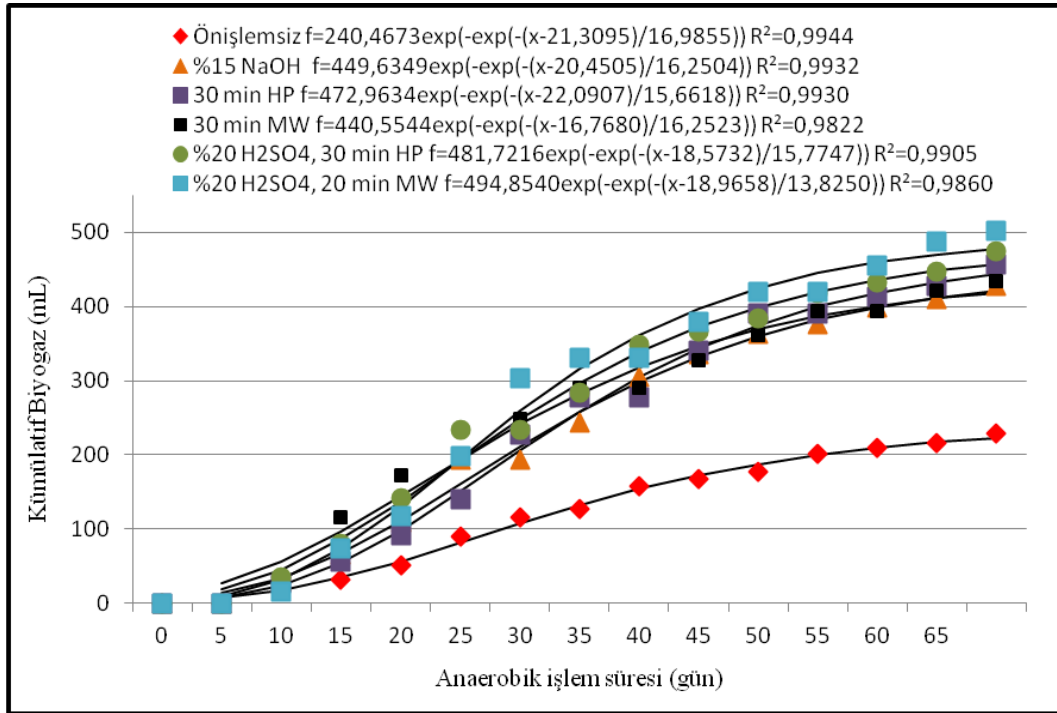
% 20 H₂SO₄ ilave edilerek 20 min ısıt MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin doğrusal eğrisinde; R² değerleri 0,4119-0,9400 arasındadır. Artan-azalan oranlarda biyogaz üretiminin üstel eğrisinde; R² değerleri 0,4629-0,8940 arasındadır. Son olarak Gaussian eğrisindeki R² değeri, 0,4062'dir. Sonuçlara bakıldığında, % 20 H₂SO₄ ilave edilerek 20 min ısıt MW uygulanarak yapılan ön işlemlili numune için doğrusal eğri modelinin daha uygun olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu ATT arıtma çamuru karışımında üretilen biyogaz miktarlarına uygulanan üç farklı modellemeden sonra grafiklerden çıkan R² sonuçlarına göre üstel eğri modelinin kullanılmasının daha uygun olduğu söylenebilir.

Kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi Şekil 5.19'da, Gompertz eğrisi Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.19 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan maksimum üstel artış eğrisi



Şekil 5.20 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımının sulu fazındaki kümülatif biyogaza uygulanan Gompertz eğrisi

Kümülatif biyogazla ilgili olarak uygulanan maksimum üstel artış eğrisinde (Şekil 5.19) ön işlemsiz numunede R^2 değeri 0,9882'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde (Şekil 5.20) ise ön işlemsiz numunede R^2 değeri 0,9944'dür. Görüldüğü üzere Gompertz eğrisindeki R^2 değerleri, maksimum üstel artış eğrisindeki R^2 değerlerinden daha yüksek bulunmuştur. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 15 NaOH kullanılarak yapılan ön işlem sonucunda; maksimum üstel artış eğrisinde R^2 değeri 0,9846'dır. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri 0,9932'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

30 min ısı HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9770'dir. Gompertzde ise R^2 değeri 0,9930'dur. Sonuçlara baktığımızda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

30 min ısı MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9913'dür. Gompertzde ise R^2 değeri 0,9822'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, maksimum üstel artış modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 20 H_2SO_4 ilave edilerek 30 min ısıtılarak HP uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9882'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri 0,9905'dir. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

% 20 H_2SO_4 ilave edilerek 20 min ısıtılarak MW uygulanarak yapılan ön işlem sonucunda; R^2 değeri 0,9747'dir. Diğer uygulanan model Gompertzde ise R^2 değeri 0,9860'dır. Bunun sonucunda kümülatif biyogaz eğrisinin, Gompertz modeline daha uyumlu olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu AAT arıtma çamuru karışımında, Gompertz modelinin kümülatif biyogaz eğrisi oluşturulurken daha uygun bir model olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ ve ÖNERİLER

Suda Çözünürlük

Dimes A.Ş. Meyve suyu sanayi AAT arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru, Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru ve % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 meyve suyu sanayi AAT arıtma çamuru karışımından elde edilen 4 farklı arıtma çamuru numunesi ile yapılan ön işlemsiz ve ön işlem (kimyasal, ısıl HP, ısıl MW, kimyasal-ısıl HP ve kimyasal-ısıl MW) uygulanması sonucunda suda çözünme yüzdelerinin saptanması ile ilgili sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir. Yukarıda belirtilen bu dört numunenin hiçbir ön işleme tabi tutulmadan oda sıcaklığında suda çözünme %'leri sırasıyla; % 49,56, % 51,96, % 49,4 ve % 49,38'dir. Bu dört numune arasında en iyi suda çözünme %'si Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamurunda gerçekleşmiştir.

Asit ve baz ilavesiyle yapılan kimyasal ön işlemlerde arıtma çamuru numuneleri karşılaştırıldığında en yüksek suda çözünme, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuruna uygulanan % 20 H₂SO₄ kimyasal ilavesiyle % 73,08 olarak bulunmuştur.

Arıtma çamuru numunelerine uygulanan ısıl HP ön işlem sonuçlarına bakıldığında en iyi suda çözünme, Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuruna uygulanan 30 min ısıl HP ön işlemiyle % 64,03 olarak bulunmuştur.

Isıl MW ön işlem uygulanmış arıtma çamuru örneklerinde en yüksek suda çözünme, % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımında 30 min ısıl MW ön işlem koşulunda, % 79,31 suda çözünme değeriyle bulunmuştur.

Kimyasal-ısıl HP ön işlem uygulanmış arıtma çamuru örneklerinde en yüksek suda çözünme, % 83,01 değeriyle, % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru'na % 20 H₂SO₄ ilavesi ile 30 min ısıl HP ön işlem koşulunda alınmıştır.

Kimyasal-ısıl MW ön işlemi uygulanmış numunelerdeki sonuçlara bakıldığında en iyi suda çözünme yüzdesi, % 89,85 ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuruna uygulanan % 15 NaOH ilavesi ile 10 min ısıl MW ön işleminde elde edilmiştir. Bu değer yapılan tüm deneylerde elde edilen en yüksek suda çözünme değeri ve bu ön işlem de en yüksek suda çözünmenin elde edildiği ön işlemdir. Bu değer ön işlemsiz numuneye göre suda çözünmede % 81,29'luk bir artış demektir.

Yapılan deneyler sonucunda ön işlemsiz numuneye göre kimyasal, ısı ve kimyasal-ısı ön işlemlerin suda çözünmeyi artırdığı görülmüştür. Ön işlemsiz numuneye göre suda çözünmedeki artış % 62,07-81,29 arasında gerçekleşmiştir.

Biyogaz ve Metan Üretim Verimleri

Suda çözünme işlemini takiben en iyi suda çözünen 24 adet numune seçildikten sonra arıtma çamuru örnekleri 65 gün 35 °C’de inkübatörde bekletilip her beş günde bir ölçümler yapılmış ve sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

4 ayrı hammadde için yapılan ön işlemlerle, ön işlemsiz numunelere göre biyogaz üretim verimlerindeki % artış değerleri; g çamur başına üretilen biyogaz, g suda çözünmüş KM başına üretilen biyogaz ve g giderilen UM başına elde edilen biyogaz açısından sırasıyla; % 101,30-240,73, % 36,56-110,82 ve % 17,47-126,27 olarak bulunmuştur.

Yapılan tüm ön işlemlerde elde edilen biyogaz üretim verimleri ön işlemsiz numunelerden elde edilenlerden daha yüksek bulunmuştur. Yani tüm ön işlemler suda çözünmeyi artırdığı gibi biyogaz verimini de artırmıştır.

4 ayrı hammadde için yapılan deneylerin sonuçlarına göre;

Yapılan çalışmada hammaddelerden elde edilen biyogazın metan yüzdesi % 42,60-58,90 arasında değişmektedir. % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımından, % 58,90 metan yüzde değeriyle en yüksek metan verimi; % 20 H₂SO₄ ilaveli 30 min ısı HP ön işlem koşulundan elde edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında kullanılan 4 adet numune birbiriyle karşılaştırıldığında gram çamur başına en yüksek biyogaz ve metan üretim verimleri sırasıyla; 23,40 mL biyogaz/g çamur ve 13,78 mL metan/g çamur ile Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı örneğinde % 20 H₂SO₄ ilaveli 30 min ısı HP ön işlem koşulunda bulunmuştur.

Bütün örneklerdeki gram katı madde başına biyogaz ve metan üretim verimlerine bakıldığında, en yüksek biyogaz üretim verimi 396,34 mL biyogaz/g suda çözünmüş KM ve metan üretim verimi ise 216,68 mL metan/g suda çözünmüş KM ile Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu fazında bulunmuştur.

Yukarıdaki biyogaz ve metan üretim miktarlarına bakıldığında ön işlem uygulamanın biyogaz ve metan üretiminde etkili olduğu görülmektedir.

Uçucu Madde Başına Biyogaz Verimleri

Günlük giderilen g UM başına elde edilen biyogaz ve metan verimleri sırasıyla; 5,0-11,05 mL biyogaz/ g UM.gün ve 0,11-0,84 mL metan biyogaz/ g UM.gün arasında değişmektedir.

En yüksek verim 11,05 mL biyogaz/ g UM.gün değeriyle, % 20 H₂SO₄ ve 10 min ısı MW ön işlem koşulunda Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu karışımından elde edilmiştir.

UM başına biyogaz veriminde en yüksek değer Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru sulu karışımından elde edilirken, bunu sırasıyla; % 50 Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile % 50 Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru karışımı, Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru ve Tokat AAT biyogaz ünitesi sonrası arıtma çamuru sulu karışımı örnekleri takip etmiştir.

MLSS, KOİ, BOİ, pH

Yapılan ön işlemlere göre, biyogaz üretimi sırasında; en yüksek % BOİ, KOİ ve MLSS giderimi ve ön işlem koşulları sırasıyla; % 73,59 (% 15 NaOH + 10 min ısı MW ön işlemli Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru), % 73,87 (% 15 NaOH + 10 min ısı MW ön işlemli Dimes A.Ş. Meyve Suyu AAT arıtma çamuru), % 67,09 (% 10 H₂SO₄ kimyasal ön işlemli Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru) olarak bulunmuştur.

Örneklerin en yüksek günlük g BOİ, KOİ ve MLSS giderimi başına biyogaz verimleri ve ön işlem koşulları sırasıyla; % 11,60 (% 20 H₂SO₄ + 10 min ısı MW ön işlem), % 21,59 (30 min ısı HP ön işlem), % 11,92 (10 min ısı MW ön işlem) değerleriyle tamamı Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurundan elde edilmiştir.

Örneklerin en yüksek günlük g BOİ, KOİ ve MLSS giderimi başına biyogaz verimlerindeki artış oranları sırasıyla; % 22,64 - % 151,59, % 39,46 - % 175,47 ve % 26,97 - % 115,55 olarak elde edilmiştir.

4 farklı arıtma çamuru numunesinin, anaerobik işlem süresince ölçümleri yapılan pH değerlerine bakıldığında, literatürde verilen bilgilerle benzerlik gösterdiği görülmektedir. Örneğin, biyogaz oluşum aşamalarından biri olan asit oluşum aşaması, pH ölçümlerinde açıkça görülmektedir.

Modelleme

Arıtma çamurunda üretilen biyogaz üretim miktarlarına uygulanan modellemelerden sonra grafiklerden çıkan R^2 sonuçlarına göre bazı uygulamalarda üstel eğri modelinin, bazılarında doğrusal eğri modelinin kullanılmasının daha iyi sonuç vereceği görülmüştür. Herbir eğri için verilen modelin kullanılması gerekmektedir.

Yapılan tez çalışmasında elde edilen veriler doğrultusunda, ön işlem uygulanmış numunelerdeki biyogaz ve metan üretim verimleri ön işleme göre daha yüksek bulunurken, MLSS, KOİ ve BOİ₅ giderim verimlerinde de artış gözlenmiştir. En iyi sonuçlar Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurunda bulunmuştur.

Öneriler

Normal işletme şartları verilerine göre kıyaslama yapıldığında; Tokat AAT 22 günlük işlenen çamur hacmi; 4119,42 m³, çamur yoğunluğu 1,03 ton/m³, toplam çamur kütlece 4243 ton'dur. Çamurun katı madde oranı % 5,15' tir. 22 gün boyunca üretilen günlük biyogaz miktarı 21022,62 m³'tür. Gram çamur başına biyogaz üretim verimi ise 4,95 mL biyogaz/g çamur'dur.

Tesisteki 22 boyunca üretilen toplam elektrik miktarı 65850kW'tır. 1 m³ biyogazdan 3,13 kW elektrik üretilmektedir. Tesiste 22 günde 181038 kW elektrik tüketilmektedir. Yapılan hesaplamalarda üretilen elektrik miktarının tesisin % 36'sını karşıladığı görülmektedir.

Laboratuarda yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda; Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamurunun biyogaz üretim verimi 4,96 mL biyogaz/g çamur, en yüksek biyogaz üretim verimi ise Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru numunesinden 16,95 mL biyogaz/g çamur olarak bulunmuştur. Burada açıkça anlaşıldığı gibi ön işlem yapıldıktan sonra biyogaz üretim verimi 3,41 kat artmıştır. Biyogaz miktarının artması, doğrudan elektrik üretiminin artması anlamına gelmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuruna uygulanan ön işlem sonucunda en fazla biyogaz üretiminden elde edilen elektrik miktarı 224.548 kW olarak bulunmuştur. Tesiste tüketilen elektrik miktarı 181.038 kW olduğundan ön işlem yapıldığı takdirde 1,24 kat elektrik üretimi sağlanmaktadır. Bu durumda arıtma tesisleri sadece kendi enerjisini üretmiş olmayıp piyasayada enerji verebilecektir. Bu durum arıtma tesislerini yerel yönetimler için gider kalemi olmaktan çıkarıp kazanç sağlanan bir kategoriye taşıyacaktır. Yani Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuruna kimyasal-ısı MW ön işlemi uygulandığı takdirde 43.510 kW

elektrik satılacaktır. EPDK 2014 verilerine göre 1 kW başına 15.30 krş ücret ödenmektedir. Bu durumda, yılda 110.230 TL kazanç sağlanacağı düşünülmektedir.

Ülkemizde 460 adet atıksu arıtma tesisi olduğu bilinmektedir. Bunların yaklaşık olarak 15 tanesinde kojenerasyon santrali bulunmaktadır. Bu santrallerin hiç birinde ön işlem uygulanmamaktadır. Yapılan laboratuvar çalışması sonuçlarında ön işlem uygulamanın biyogaz üretimini artırdığı rakamlarla görülmektedir. Bu tez kapsamında atıksu arıtma tesislerinde de ön işlem uygulamanın biyogaz üretim verimini artıracığı ve daha fazla ekonomik getirisi olabileceği düşünülmektedir.

Önemle üzerinde durulması gereken bir diğer konu ise Tokat AAT çıkış suyunda tespit edilen organohalojen bileşikleridir. Bilindiği gibi tüm dünyada organohalojen bileşiklerinin kontrolü önemli olmakla birlikte, bu bileşikler çevresel açıdan tehlikeli ve izlenmesi gereken kirleticiler sınıfına girmektedir. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de organohalojen bileşikleri üretilmekte ve çeşitli endüstrilerde kullanılmaktadır. Bu bileşikler endüstrilerde çeşitli amaçlarla kullanıldıktan sonra arıtılarak ya da arıtılmadan var olan deşarj standartları çerçevesinde alıcı ortama verilmektedir. Resmi gazete (2010)'da yayınlanan, *Eysel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılması*'na dair yönetmelikte, "Stabilize arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için EK1-B, EK1-C ve EK1-D'de verilen değerlerin hiçbirinin aşılması şarttır" uyarınca, organohalojen bileşiklerinin 500 mg/kg fırın KM sınır değeri aşmaması gerektiği bildirilmiştir. Tokat sanayisinden kaynaklandığı düşünülen organohalojenlerin tesisin çıkış suyundaki ölçülen miktarı 680 mg/kg fırın KM olarak tesbit edilmiştir. Sınır değer olan 500 mg/kg fırın KM miktarının üzerinde olması sebebiyle bu problem için önlem alınması gerekmektedir. Bunun için; meyve suyu sanayi AAT arıtma çamurunun, Tokat AAT arıtma çamuruna ilave edilmesiyle organohalojen miktarının seyreltilerek sınır değer altına düşeceği düşünülmektedir. Tez kapsamında yapılan Tokat AAT biyogaz ünitesi öncesi arıtma çamuru ile meyve suyu sanayi AAT arıtma çamuru karışımının biyogaz üretim sonuçları oldukça yüksektir. Karışım yapılması hem biyogaz üretimine katkıda bulunacak hem de tesis atıksuyunda karşılaşılabilecek kirlilik problemleri için çözüm yolu sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M. (2003).** Alternatif Enerji Kaynakları, Ders Kitabı, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, Temmuz.
- Acaroglu, M., Kocar, G. and Hepbasli, A. (2005).** The Potential of Biogas Energy, Energy Sources, 27, pp. 251–259.
- Achmad, K.T.B., Gani, S.A., Sunarto, S. and Hamidah, I. (2011).** The Use of Rumen Liquid and *Saccharomyces cerevisiae* as Activators in Biogas Production from Fresh Market Garbage, Lucrări Științifice - Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară, Seria Zootehnie, Vol. 56 pp. 117-120.
- Adelekan, B.A. and Bamgboye, A.I. (2009).** Comparison of Biogas Productivity of Cassava Peels Mixed in Selected Ratios with Major Livestock Waste Types. African Journal of Agricultural Research Vol.4(7), pp.571-577.
- APHA (American Public Assoc), (2005).** Standart Methods for the Examination of Water and Watse Water, 21th Edition Washington D.C.
- Ardıç, İ. (2009).** İnek Gübresinden Biyogaz Üretim Verimine Termal, Kimyasal ve Termokimyasal Önişlemlerin Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin, 228s.
- Ardıç, İ. ve Taner, F. (2004).** Tavuk Gübresindeki Katı Maddenin Sudaki Çözünürlüğüne Asidik Ön işlemlerin Etkileri, Ekoloji Dergisi, 14, 53, ss. 39-43.
- Arıkan, B. (2008).** Organik Evsel Katı Atıklardan Anaerobik Ortamda Biyogaz Üretiminin Verimliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 155s.
- Ayhan, A. (2013).** Farklı Karışım Oranlarındaki Sığır Gübresi ve Mısır Silajından Mezofilik Fermantasyonla Üretilebilecek Biyogaz Miktarlarının Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Anabilim Dalı, Bursa, 86s.
- Baccini, P., Henseler, G., Fiqi, R. and Belevi, H. (1987).** Water and Element Balances of Municipal Solid Waste Landfills, Waste Management & Research, 5, ss. 483-499.
- Bayraklı, M.İ. (2013).** Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Reaktör Tasarımı ve Anaerobik Ortamda Atıklardan Biyogaz Eldesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 104s.
- Bek, Y. ve Efe, E. (1995).** Araştırma ve Deneme Metotları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 71, 395s.
- Bilir, M., Karabay, E., Deniz, Y. ve Katlı, N. (1982).** Biyogazın Önemi, Yararları, Kullanımı, Biyogaz Tesislerinin Tasarımı ve Türkiye’de Yaygınlaştırma Olanakları, T.C. Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı, Topraksu Genel Müd., Merkez Topraksu Araştırma Enst. Müd., Ankara.
- Björnsson, L. (2000).** Intensification of the Biogas Process by Improved Process Monitoring and Biomass Retention. Lund University, Department of Biotechnology, Doctoral Dissertation, Swedish, 57p.
- Bolu, A. (1987).** Eskişehir Koşullarında 13 m³ Kapasiteli Biyogaz Tesisinin Gaz Verimi, T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Eskişehir Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 205, Rapor Serisi No: 155, Eskişehir.
- Bond, T. and Templeton, M.R. (2011).** History and Future of Domestic Biogas Plants in the Developing World, Energy for Sustainable Development 15, pp.347–354.

- Cıngır, A. (2004).** Mathematical Modeling of A Biogas Recovery System at The Izaydaş, Kocaeli Sanitary Landfill, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı İstanbul, 96s.
- Climent, M., Ferrer, I., Baeza, M., Artola, A., Vazquez, F. and Font, X. (2007).** Effects of Thermal and Mechanical Pretreatments of Secondary Sludge on Biogas Production under Thermophilic Conditions. *Chemical Engineering Journal*, 133: 335–342.
- Crawford, G. V., Alkema, T., Yue, M. and Thorne, M. (1982).** Anaerobic Treatment of Thermal Conditioning Liquors, *Journal WPCF*, 54(11).
- Çetinkaya, M. ve Karaosmanoğlu, F. (2004).** Biyogaz ve Türkiye İçin Seçenekler. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs, İstanbul ss.627-644.
- Dalgıç, A.Ç. (1998).** Biyogaz Production From Olive Residue, Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, 129s.
- Davidson, A. and Jansen, J.L.C. (2006).** Pre-treatment of Wastewater Sludge Before Anaerobic Digestion; Hygienisationi Ultrasonic Treatment and Enzyme Dosing. *Vatten*, 62: pp.335–340.
- Demirbaş, A. (2004).** The Importance of Biomass, *Energy Sources*, 26, pp.361–366.
- Desai, M., Patel, V. and Madamvar, D. (1994).** Effect of Temperature and Retention Time on Biomethanation of Cheese Whey-Poultry Waste-Cattle Dung. *Environmental Pollution* 83, pp.311-315.
- Deublein, D. and Steinhauser, A. (2008).** Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction, Copyright, Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim, 443p.
- De Mes, T. Z. D., Stams, A. J. M., Reith, J. H. and Zeeman, G. (2003).** Methane Production by Anaerobic Digestion of Wastewater and Solid Wastes. In: Reith, J. H., Wijffels, R. H., Barten, H. (Eds.), *Bio-Methane & Bio-Hydrogen. Status and Perspectives of Biological Methane and Hydrogen Production*. Dutch Biological Hydrogen Foundation, Petten, The Netherlands, pp.58-102.
- Dimes Gıda Sanayi ve Ticaret A.Ş. (2007).** Tokat Taşlıçiftlik Muhtelif Sebze, Meyve Suyu, Alkollü ve Alkolsüz İçecekler Üretim Tesisi Proje Tanıtım Dosyası, 81s.
- Efe, E., Bek, Y. ve Şahin, M. (2000).** SPSS'te Çözümleri İle İstatistik Yöntemler II, Bilgisayar Araştırma ve Uygulama Merkezi, Yayın No: 10, 214s.
- Ekinci, M.S. (2007).** Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 125s.
- Elango, D., M. Pulikesi, P. Baskaralingam, V. Ramamurthi and S. Sivanesan, (2007).** Production of Biogas from Municipal Solid Waste with Domestic Sewage. *J. Harzard. Mater.*, 141: pp.301-304.
- Eryaşar, A. (2007).** Kırsal Kesime Yönelik Bir Biyogaz Sisteminin Tasarımı, Kurulumu, Testi ve Performansına Etki Eden Parametrelerin Araştırılması, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, İzmir, 302s.
- Europeaan Environment Agency (EEA), (1998).** Sludge Treatment and Disposal: Management Approaches and Experiences; Environmental Issues Series, No:7. (<http://www.eea.europa.eu/publications/GH-10-97-106-EN-C>).
- Filibeli, A., Büyükkamacı, N. ve Ayol, A. (2000).** Anaerobik Arıtma, DEÜ. Müh. Fak. Yayınları, No:280, İzmir, 206s.

- Genç, N. (2008).** Atıksu ve Arıtma Çamurlarının Biyolojik Parçalanabilirliğinin Geliştirilmesinde Ön Arıtımın Önemi, Trakya Üniversitesi, Journal Science 9(1), ss.15-24.
- Genç, N. (2010).** Fermentatif Hidrojen Üretim Prosesinin Modellenmesi, SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 14, Sayı 2, ss.87-97.
- Ghaly, A. E. (1996).** A Comparative Study of Anaerobic Digestion of Acid Cheese Whey and Dairy Manure in A Two Stage Reactor. Bioresource Technology 58, pp.61-72.
- Goel, B., Pant, D.C. and Kishore, V.V.N. (2001).** Two-Phase Anaerobic Digestion of Spent Tea Leaves for Biogas and Manure Generation, Bioresource Technology 80, pp.153–156.
- Göğüş, A.Y. (1986).** İşte Biyogaz, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 9, Sayı 4, ss.42-44.
- Gülen, J. ve Arslan, H. (2005).** Biyogaz, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4, ss.121-129.
- Güngör, G. (2002).** Et Tavuğu ve Büyükbaş Hayvan Gübresinin Anaerobik Arıtılabilirliği ve Biyogaz Üretim Potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, Ankara, 133s.
- Halisdemir, B. (2009).** Aktif Çamur ve Portakal Posasının Biyogaz Üretim Verimleri ve Bazı Önışlemlerin Biyogaz Üretim Verimine Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, 275s.
- Hwu, C. S. and Lettinga, G. (1997).** Acute Toxicity of Oleate to Acetate-Utilizing Methanogens in Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Sludges. Enzyme and Microbial Technology, 21, pp.297–301.
- Karakuşçu, M., Karabay, E., Bilir, M. ve Öztürkcan, C. (1981).** Türk Hükümeti - Unicef Ortak Biyogaz Projesi, *Uluslararası Biyogaz Semineri*, 23-26 Kasım 1981, Ankara, ss.118-157
- Karena, O. (2004).** Greening Waste: Anaerobic Digestion for Treating The Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. Columbia University Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation of School of Engineering and Applied Science, Master Thesis, 54p.
- Kaygusuz, K. and Turker, M.F. (2002).** Biomass Energy Potential in Turkey, Renewable Energy, 26, pp.661-678.
- Kaygusuz, K. and Sarı, A. (2003).** Renewable Energy Potential and Utilization in Turkey, Energy Conversion and Management, 44, pp. 459–478.
- Karim, K., Hofmann, R., Klasson, T. K. and Al-Dahhan, M. H. (2005).** Anaerobic Digestion of Animal Waste: Effect of Mode of Mixing. Water Research, 39, pp.3597-3606.
- Kavacık, B. (2007).** Peyniraltı Suyu ve Gübre Karışımının Kofermantasyonu İle Biyogaz Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Samsun, 122s.
- Kearney, T.F., Larkin, M.J. and Levett, P.N. (1994).** Metabolic Activity of Pathogenic Bacteria During Semicontinuous Anaerobic Digestion Applied, Applied and Environmental Microbiology, Vol. 60, No.10, pp.3647-3652.
- Kim, J., Park, C., Kim, T-H., Lee, M., Kim, S., Kim, S-W. and Lee, J. (2003).** Effects of Various Pretreatments for Enhanced Anaerobic Digestion with Waste Activated Sludge. Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol:95, pp.271–275.

- Kobyay, M. (1992).** Sığır Gübresinden Biyogaz Üretimi ve Erzurum Koşulları için Bir Biyogaz Tesis Tasarımı. Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 68s.
- Kocasoy, G. (1996).** Atıksu Arıtma Çamuru ve Katı Atık ve Kompost Örneklerinin Analizleri, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 120s.
- Köse, F. (1998).** Güneş Isıtmalı Biyogaz Üretimi, Enerji Workshop-I, Alternatif Enerji Kaynakları, Selçuk Üniversitesi-Ege Üniversitesi, Konya, Ekim 98, ss.94-100.
- Lay, J. J., Li, Y. Y., Noike, T., Endo, J. and Ishimoto, S. (1997).** Analysis of Environmental Factors Affecting Methane Production from High-Solids Organic Waste. *Water Science and Technology*, 36, pp.493-500.
- Leitao, R. C., Van Haandel, C., Zeeman, G. and Lettinga, G. (2005).** The Effects of Operational and Environmental Variations on Anaerobic Wastewater Treatment Systems: A Review *Bioresource Technology*, 97, pp.1105-1118.
- Lo, H.M., Kurniawan, T.A., Sillanpää, M.E.T., Pai, T.Y., Chiang, C.F., Chao, K.P., Liu, M.H., Chuang, S.H., Banks, C.J., Wang, S.C., Lin, K.C., Lin, C.Y., Liu, W.F., Cheng, P.H., Chen, C.K., Chiu, H.Y. and Wu, H.Y. (2010).** Modeling Biogas Production from Organic Fraction of MSW Co-Digested with MSWI Ashes in Anaerobic Bioreactors, *Bioresource Technology*, Vol. 101, Issue 16, pp.6329-6335.
- Lusk, P. (1997).** Anaerobic Digestion and Opportunities for International Technology Transfer, The Third Biomass Conference of the Americas, Pergamon Pres, Montréal, Québec, UK, pp.1211-1220.
- Lusk, P. (1998).** Methane Recovery from Animal Manures. The Current Opportunities Casebook. NREL, Golden, Colorado, pp.3-7.
- McKendry, P. (2002).** Energy Production from Biomass (Part 1):Overview of Biomass, *Bioresource Technology*, 83, pp.37-46.
- Metcalf & Eddy Inc. (1991).** Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse, 3rd ed. Mc Graw-Hill Inc., New York.
- Monnet, F. (2003).** An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes, Final Raport, Remada, Scotland, 48p.
- Murto, M., Björnsson, L. and Mattiasson, B. (2004).** Impact of Food Industrial Waste on Anaerobic Co-Digestion of Sewage Sludge and Pig Manure, *J. of Environmental Managment*, 70, pp.101-107.
- Ojikutu Abimbola, O. and Osokoya Olumide, O. (2014).** Evaluation of Biogas Production from Food Waste, *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, Volume.3, Issue.01, pp.1-7.
- Öztürk, İ. (1999).** Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları. İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 320s.
- Öztürk, M. (2005).** Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 53s.
- Öztürk, D.C. (2008).** Biyolojik Arıtma Çamurlarının Aerobik ve Anaerobik Stabilizasyonunun Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 90s.
- Öz Eldem, N. ve Öztürk, İ. (2006).** Anaerobik Arıtmada pH ve Amonyak İnhibisyonu, *İTÜ Dergisi*, Cilt. 5, Sayı. 1, ss.3-14.
- Park, C., Lee, C., Kim, S., Chen, Y. and Chase, H.A. (2005).** Upgrading of Anaerobic Digestion by Incorporating Two Different Hydrolysis Processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100: pp.164-167.

- Patil, J.H., Malourdu Antony Raj, Muralidhara, P.L., Desai, S.M. and Mahadeva Raju, G. K. (2012).** Kinetics of Anaerobic Digestion of Water Hyacinth Using Poultry Litter as Inoculum, *International Journal of Environmental Science and Development*, Vol. 3, No. 2, April 2012, pp.94-98.
- Pehlivan, E., Yaşloğlu, D., Karaca, R., Tosyahoğlu, S.ve Can, H. (2008).** İnek Gübresinin, Suda Çözünebilir Maddelere ve Biyogaza Dönüşüm Verimine Isıl ve Kimyasal Önişlemlerin Etkisinin Araştırılması, *Üniversite Öğrencileri III.Çevre Sorunları Sempozyumu*, Fatih Üniversitesi, İstanbul, ss.444-450.
- Pola, G. (2011).** Impact of Rice Husk as Litter Material on Biogas Generation from Chicken Manure, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 85s.
- Pound, B., Done, F. and Preston, T.R. (1981).** Biogas Production from Mixtures of Cattle Slurry and Pressed Sugar Cane Stalk ,With And Without Urea, CEDIPCA, CEAGANA, Aptd 1256 Santo Domingo, Dominican Republic, *Trop. Anim. Prod.*, pp.1-6.
- Rajeshwari, K. V., Balakrishnan, M., Kansa, A., Lata, K. and Kishore, V. V. N. (2000).** State-of-the-Art of Anaerobic Digestion Technology for Industrial Wastewater Treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4, pp.135-156.
- Soylukan, Ş. ve Akdoğan, F. (2001).** Kırsal Kesimdeki Küçük Bir Aile İçin Biyogaz Üretim Tesisi, VI. Türk-Alman Enerji Sempozyumu, Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çevre Korunumu.
- Sözer, S. ve Yaldız, O. (2006).** Sığır Gübresi ve Peyniraltı Suyu Karışımlarından Biyogaz Üretimi Üzerine Bir Araştırma, *Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19(2), ss.179-183.
- Speece, R.E. (1996).** Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater, Arche Press, Tennessee, 394p.
- Taner, F. ve Ardic, I. (2004).** “Asidik Önişlemlerin Tavuk Gübresinden Biyogaz Üretim Verimine Etkileri”, *Çevre Bilim ve Teknoloji*, 2(1), ss.84-93.
- Taşdemiroğlu, E. (1988).** Review of the Biogas Technology in Turkey, *Biomass*, 17, pp.137-148.
- Taşdemiroğlu, E. (1991).** Economics of Biogas Space Heating Systems in Rural Turkey, *Bioresource Technology*, 36, pp.147-155.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. (2005).** Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı: 25777, Tarih 5 Nisan 2005, Ankara.
- Turkenburg, W.C., 2000,** World Energy Assessment: Energy And The Challenge of Sustainability, *Renewable Energy Technologies-Chapter 7*.
- Tüzüm, A.P. (2003).** Yemek Atıklarının Anaerobik Arıtımı ve Biyogaz Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, 140s.
- Vavilin, V. A., Lokshina, L. Y., Flotats, X. and Angelidaki, I. (2007).** Anaerobic Digestion of Solid Material: Multidimensional Modeling of Continuous-Flow Reactor with Non-Uniform Influent Concentration Distributions. *Biotechnology and Bioengineering*, 97, pp.354–366.
- Verma, S. (2002).** Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Munipial Solid Wastes, Submitted in Partial Fullfillment of The Requirements for Master of Science Degree, In *Earth Resources Engineering*, Columbia University, Newyork, USA, 56p.

- Yakut, U.H. (2012).** Karıştırıcı Hızının Biyogaz Üretimi Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 55s.
- Yıldız, N. ve Bircan, H. (1994).** Araştırma ve Deneme Metotları, II.Baskı, Atatürk Üniversitesi Yayınları No:697, Ziraat Fakültesi No:305, Ders Kitapları Serisi No:57, Erzurum, ss.65-66.
- Yiğit, N. (2007).** Peyniraltı Suyundan Sürekli Sistemde Biyogaz Üretimi İçin En Uygun Koşulların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, 113s.
- Yorgun, S., Şensöz, S. ve Şölener, M. (1998).** Biyokütle Enerji Potansiyeli ve Değerlendirme Çalışmaları, Enerji Dergisi, Ağustos 98, ss.44-47.
- Zaher, U., Grau, P., Benedetti, L., Ayesa, E. and Vanrolleghem, P. A. (2007).** Transformers for Interfacing Anaerobic Digestion Models to Pre- and Post-Treatment Processes in a Plant-Wide Modelling. Environmental Modelling and Software, 22, pp.40-58.
- Zupančić, G.D., Uranjek-Ževart, N. and Roš, M. (2007).** Full-Scale Anaerobic Co-Digestion of Organic Waste and Municipal Sludge. Biomass and Bioenergy, pp.1-6.
- Zorlugenç, B. ve Evliya, İ.B. (2011).** Degradation of Aflatoxin B1 in Various Foods by *Nocardia Corynebacterioides* (*Flavobacterium aurantiacum*) NRRL B-184, Ç.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:26-2 - pp.193 -203

- Url-1** <<http://www.eie.gov.tr>>, erişim tarihi: 31.05.2011.
- Url-2** <<http://www.eie.gov.tr>>, erişim tarihi, 2012.
- Url-3** <<http://tuikapp.tuik.gov.tr>>, erişim tarihi, 2012.
- Url-4** <<http://www.kaski.gov.tr>>, erişim tarihi, 2011.
- Url-5** <<http://www.muqlabesko.gov.tr>>, erişim tarihi, 2014.
- Url-6** <www.ankara.bel.tr>, erişim tarihi, 2013.
- Url-7** <www.enerjiotomasyonu.com>, erişim tarihi, 08.06.2012.
- Url-8** <www.cev-tr.com/gazianteptr.html>, erişim tarihi, 2010.
- Url-9** <www.cev-tr.com/bolutr.html>, erişim tarihi, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Esin Hande BAYRAK
Doğum Yeri ve Tarihi	Tokat, 12/09/1983
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Almus MYO. Tokat
E-posta Adresi	esin_hande_bayrak@hotmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu	
Lise	Gaziosmanpaşa Lisesi, 2001
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2005
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2008
Doktora	Cumhuriyet Üniversitesi, 2014

İş Tecrübesi	
Gaziosmanpaşa Üniversitesi	Öğretim Görevlisi, 2008