



**T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**BİRİNCİL VE İKİNCİL ARITMA
ÇAMURLARININ ÜST MEZOFİLİK
SICAKLIKTA AYRI ANAEROBİK ÇÜRÜTME
POTANSİYELİ VE STABİLİZE ÇAMUR
KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Gool Mohammad EBRAHİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalını

**Mayıs-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Gool Mohammad EBRAHIMI tarafından hazırlanan “Birincil ve İkincil Arıtma Çamurlarının Üst Mezofilik Sıcaklıkta Ayrı Anaerobik Çürütme Potansiyeli ve Stabilize Çamur Kalitesinin Araştırılması” adlı tez çalışması 03/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Bilgehan NAS

Danışman

Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

Üye

Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU

İmza
.....
D.E. Ulleri.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylım.

Prof. Dr.
FBE Müdürü

Bu tez çalışması SÜ BAP Koordinatörlüğü tarafından 17201111 nolu tez projesi ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza 

Gool Mohammad EBRAHIMI

Tarih: 20,05,2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİRİNCİL VE İKİNCİL ARITMA ÇAMURLARININ ÜST MEZOFİLİK SICAKLIKTA AYRI ANAEROBİK ÇÜRÜTME POTANSİYELİ VE STABİLİZE ÇAMUR KALİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

Gool Mohammad EBRAHİMİ

Konya Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ
2019, 62 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

Prof. Dr. Bilgehan NAS

Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU

Bu tez çalışmasının ana amacı, atıksu arıtma tesislerinde (AAT) yaygın olarak kullanılan konvansiyonel anaerobik çamur çürütme prosesine yönelik iyi performans, etkili, verimli ve daha iyi kalitede stabilize çıkış çamurunun eldesi için uygun bir modelin önerilmesidir. Bu amaca yönelik üst mezofilik sıcaklıkta (40°C) ayırık sistem ve birleşik sistem anaerobik çürütücülerde artan organik yükleme hızı (OYH) değerlerinde çalışmalar yürütülerek optimum metan dönüşümü, hidrolik bekleme süresi (HBS) ve stabilize çamur kalitesi performans parametreleri incelenmiştir. Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında mevcut durumda işletilmekte olan AAT'nin birincil (ön çöktürme çamuru (ÖÇÇ)), ikincil (fazla biyolojik çamur (FBÇ)) ve karışık çamur (KÇ) fraksiyonları ile karşılaştırmalı olarak yarı-sürekli reaktörler kurulmuş ve beş farklı OYH değerinde sırasıyla; 1.5-3, 0.4-1.3 ve 0.82-2.28 kg UKM/m³gün aralığında işletilmiştir. Reaktörlerde maksimum günlük metan oluşumu ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için sırasıyla; 1200±200, 580±110 ve 1150±225 mL/gün olarak gerçekleşmiştir. Optimum OYH'ı birincil, ikincil ve KÇ için sırasıyla 1.65, 0.7 ve 1.1 kg UKM/m³.gün olarak belirlenmiştir. Uçucu katı madde (UKM) giderimi sırasıyla; %63±2, 32±5 ve 48±5 seviyelerinde meydana gelmiştir. Metan dönüşümü sırasıyla; 500±80, 700±30 ve 700± 50 mL CH₄/g UKM_{ekl}.gün olarak oluşmuştur. Bunların yanı sıra optimum HBS süresi sırasıyla; 20, 8 ve 18 gün olarak bulunmuştur. Her OYH'nin son aşamasında FeCl₃ ilavesi yapılmış, çözünürleşmeye katkısı elde edilmiş fakat toplam çözünmüş sülfür (TÇS) üzerinde etkisiz kalmıştır. Her üç reaktörün pH değerleri 7-8.5 aralığında gerçekleşmiştir. Susuzlaşma değeri azalan sırada stabilize ikincil, KÇ ve birincil çamur olarak elde edilmiştir. Stabilize çamurların nütrient içeriği birincil, ikincil ve KÇ için toplam katı madde (TKM) bazında sırasıyla toplam fosfor (TP); 18, 50 ve 22 mg/g TKM, aynı şekilde toplam azot (TN); 60, 200 ve 70 mg/g TKM olarak ölçülmüştür. Her üç sistemde stabilize çamurun yağ-gres (YG) içeriği 0.056-0.223 % YG/TKM aralığında ölçülmüştür. Ayırık sistemin daha düşük hacimde daha yüksek metan dönüşümü sağlama potansiyeli ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik, Metan, Biyokütle, Çürütme, Arıtma çamuru, Üst mezofilik.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF SEPARATE ANAEROBIC STABILIZATION POTENTIAL OF PRIMARY AND SECONDARY SEWAGE SLUDGES AT UPPER MESOPHILIC TEMPERATURE

Gool Mohammad EBRAHIMI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering**

Advisor: Prof. Dr Dilek ERDİRENÇELEBİ

2019, 62 Pages

Jury

Prof.Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ

Prof. Dr. Bilgehan NAS

Prof. Dr. Mustafa ACAROĞLU

The main purpose of the study was to propose a suitable model for conventional anaerobic sludge digestion process at a higher performance and better quality of stabilized sludge in wastewater treatment plants (WWTPs). Upper mesophilic temperature (40°C) and separate system were investigated against combined system at increasing organic loading rate (OLR) values in paralel lab-scale semi-continuous reactors fed with primary sludge (PS), secondary sludge (SS) and mixed sludge (MS) to determine optimum methane conversion, volatile solid (VS) removal, hydraulic retention time (HRT) and stabilized sludge quality. OLR was applied for PS, SS and MS, respectively, at 1.5-3, 0.4-1.3 and 0.82-2.28 kg VS/m³ day. The maximum daily methane formation in the reactors was 1200±200, 580±110 and 1150±225 mL/day for PS, SS and MS, respectively, with methane conversion rates at 500±80, 700±30 and 700±50 mL CH₄/g VS_{added}.d. VS removal were obtained at 63±2, 32±5 and 48±5% during PS, SS and MS digestion, respectively, at optimum hydraulic retention time (HRT) values determined as 20, 8 and 18 d. The pH values of all three reactors were in the range of 7-8.5. In the final stage of each OLR, FeCl₃ was supplemented where neutral and promotive effects were obtained on total dissolved sulfide (TDS) concentration and VS solubilization, respectively. As the final sludge quality, the highest and lowest filtering ability was obtained for SS and PS, respectively. Similarly, the nutrient content of the stabilized sludge fractions occurred at the highest level for stabilized SS as total P (TP) at 18, 50 and 22 mg/g TS and total N (TN) 60, 200 and 70 mg/g TS for stabilized PS, SS and MS, respectively. The oil and grease (OG) content reached the highest level for stabilized SS whereas a range of 0.056-0.223 % OG/TS. Potential for higher methane yield and lower reactor volume was presented with separate sludge digestion model.

Keywords: Anaerobic, Methane, Biomass, Digestion, Sewage sludge, Upper mesophilic.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında başladığım günden beri gerek konu belirlenmesinde, gerek laboratuvar çalışmasında, gerekse yazım sürecinde yoğun iş temposuna rağmen değerli bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarını benden esirgemeyen her fırsatta sorularımı sabırla yanıtlayan danışman hocam sayın Prof. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Labaratuvar aşamasında bana her konuda yardımcı olan sayın Arş. Gr. Hamza AYSAN hocama teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan sevgili eşime, manevi ve maddi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Kapsam, Amaç ve Önemi	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Arıtma Çamuru	4
2.2. Arıtma Çamurunun Stabilizasyon Prosesleri	5
2.2.1. Alkalinite stabilizasyonu	5
2.2.2. Aerobik çürütme	5
2.2.3. Kompostlaştırma	6
2.2.4. Anaerobik çürütme.....	6
2.2.5. Isıl işlem	6
2.3. Anaerobik Çürütme.....	6
2.4. Anaerobik Çürütmenin Mikrobiyolojisi.....	7
2.4.1. Hidroliz	8
2.4.2. Asit üretimi	8
2.4.3. Metan üretimi	9
2.5. Anaerobik Çürütmenin Proses Esasları.....	9
2.5.1. Sıcaklık.....	9
2.5.2. Hidrolik bekletme süresi (HBS).....	10
2.5.3. pH.....	10
2.5.4. Alkalinite.....	10
2.5.5. Uçucu yağ asitleri (UYA)	11
2.5.6. Nutrient maddeler	11
2.5.6. Ağır metaller	11

2.5.7. Toksisite	12
2.6. Anaerobik çürütme prosesleri	13
2.6.1. Klasik çürütücüler veya standart hızlı anaerobik çürütücüler.....	13
2.6.2. Mezofilik anaerobik çürütme	14
2.6.3. Anaerobik Termofilik Çürütme	16
2.6.4. Anaerobik çürütmenin tank geometrisi.....	16
2.7.Konuya İlişkin Literatür Bilgileri	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1. Atıksu artıma tesisi.....	26
3.2. Ham numunelerin özellikleri	26
3.3. Reaktörlerin işletim ve izlenmesi.....	27
3.4. Analiz ve yöntemler	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	31
4.1. Metan Dönüşümü.....	31
4.2.Günlük Metan ve Toplam Çözünmüş Sülfür (TÇS) Oluşumu	33
4.3. UKM Konsantrasyonu ve Giderimi	33
4.4. pH ve UYA değişimi.....	35
4.5. Yağ-Gres İçeriği.....	38
4.6. Susuzlaşma.....	39
4.7. İletkenlik ve TKM değişimi	40
4.8. Nutrient İçeriği (TP ve TN)	41
4.9. Sonuçların Değerlendirilmesi	41
4.10. Literatürdeki Çalışmalarla Kıyaslama	42
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	44
5.1 Sonuçlar	44
5.2 Öneriler	45
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Ham ÖÇÇ ve FBÇ nin tipik kimyasal bileşenler	4
Çizelge 2.2. Arıtma çamurlarında bulunan ağır metaller ve sınır değerleri.	12
Çizelge 3.1. Ham çamur numunelerin karakterizasyonu.....	27
Çizelge 3.2. Yarı sürekli anaerobik çürütme reaktörlerinin işletim parametreleri	29
Çizelge 3.3. Stabilize çamurun izlenen parametreleri, izleme aralığı ve metotları	30
Çizelge.4 1. Stabilize edilmiş numunelerin nütrient içeriği	41
Çizelge.4 2. Mevcut çalışmanın özet tablosu	42
Çizelge.4 3. Çalışmanın literatürlerdeki çalışmalarla optimum değerler için kıyaslaması	43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Anaerobik çürüme sürecinin mikrobiyolojisi.....	8
Şekil 2.2. Klasik anaerobik çamur çürütme tankı.....	13
Şekil 2.3. Tek kademeli yüksek hızlı mezofilik çürütücü tankı	14
Şekil 2.4. İki kademeli yüksek hızlı mezofilik çürütücü tankı	15
Şekil 2.5. Sığ ve silindirik yüzer kapaklı veya sabit kapaklı çürütücü tanklar.....	18
Şekil 2.6. Derin, silindirik, alt ve üst kısmı dik eğimli ve yumurta şekilli anaerobik çürütme tankı	18
Şekil 3.1. KOSKİ - AAT akım şeması	26
Şekil 3. 2. Metan ölçme düzeneği (a) N ₂ ile reaktör yıkama (b) 40 °C'de ayarlanmış etüv (c).....	28
Şekil 4.1. ÖÇÇ (a) FBC (b) ve KÇ (c) reaktörü için zamana göre günlük metan dönüşümü ve uygulanan OYH değerleri	32
Şekil 4.2. ÖÇÇ (a), FBC (b) ve KÇ (c) reaktörlerinin günlük metan ve TÇS oluşumunun zamanla değişimi ve FeCl ₃ ilavesi	34
Şekil 4.3. ÖÇÇ (a), FBC (b) ve KÇ (c) reaktörlerinin %UKM giderimi ve stabilize çamurda UKM konsantrasyonunun artan OYH ile değişimi.....	36
Şekil 4.4. ÖÇÇ (a), FBC (b) ve KÇ (C) reaktörlerinde oluşan UYA ve pH profili	37
Şekil 4.5. Stabil ÖÇÇ, FBC ve KÇ çıkış çamurlarının %YG/TKM içeriği	38
Şekil 4.6. Stabilize ÖÇÇ, FBC ve KÇ ile elde edilen susuzlaşma/filtreleme sürelerindeki değişim.....	39
Şekil 4.7. ÖÇÇ, FBC ve KÇ reaktörlerinin çalışma süresince a) iletkenlik b) TKM değişimi.....	40

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

H ₂ S:	Hidrojen sülfür
NH ₃ :	Amonyak
NH ₄ ⁺ :	Amonyum
NH ₄ ⁺ -N:	Amonyum azotu
SO ₄ ²⁻ :	Sülfat
TN:	Toplam azot
TP:	Toplam fosfor

Kısaltmalar

AAT :	Atıksu Arıtma Tesisi
AAÇ :	Atıksu Arıtma Çamuru
AÇ:	Anaerobik Çürütme
AB :	Avrupa birliği
FBC :	Fazla biyolojik çamur (ikincil çamur)
KÇ :	Karışık çamur
ÖÇÇ :	Ön çöktürme çamuru (birincil çamur)
OYH:	Organik yükleme hızı
SAÇ :	Susuzlaştırılmış arıtma çamuru
UAYP :	Ulusal Atık Yönetim Planı
UYA :	Uçucu yağ asitleri
UZYA:	Uzun zincirli yağ asitleri
YG:	Yağ-Gres
YGL:	Yağ-Gres ve Lipid

1. GİRİŞ

Atıksu arıtma çamuru (AAÇ) atıksuyun hacimce düşük bir kısmını, (%2-3)' ünü temsil ederken, Atıksu Arıtma Tesisin (AAT) işletim maliyetinin %50'sini oluşturmaktadır (EPA, 2008). Susuzlaştırılmış arıtma çamurun (SAÇ) içeriğinde stabilizasyon proseslerine bağlı olmakla birlikte organik madde (%50-70), (%1-4)' lük kısmı inorganik karbon olmakla birlikte mineral bileşenler (%30–50), azot (%3.4-4), fosfor (%0.5-2.5) ve önemli miktarlarda mikrobeyinler ve diğey besinler mevcuttur (Fytily ve Zabaniotou, 2008; Tyagi ve Shang, 2013; Samolada ve Zabaniotou, 2014).

Atıksu arıtma uzmanları, yıllardan beri, AAÇ' nin bir atık değil aksine değerli kaynakların kaynağı olduğunu savunmuştur. Bu düşüncenin ana faktörleri, sürdürülebilirlik ve çevresel kaygılar (toprak kirliliğı, kaynakların tükenmesi ve küresel değışim), AAÇ' nun bertarafında uygulanan sıkı yönergeler, kamunun çevreye duyarlılığı ve enerji fiyatlarındaki artışlardır (Tyagi ve Shang, 2013). Avrupa Birliğı (AB) raporuna göre (European, 2008b) AB'ye üye olan 26 ülkenin toplamında yaklaşık 10 milyon ton'dan fazla SAÇ üretilmiştir. Tarım amaçlı geri dönüşümü yaklaşık %36 (3.7 milyon ton) dır. Üretilen AAÇ'nun yaklaşık %75'ini sırası ile Almanya, İngiltere, Fransa, İspanya ve İtalya üretmektedir. AB'de üretilmiş olan toplam AAÇ'nın yaklaşık %40' ı standartlara uygun olarak zirai amaçlı kullanılır (Eurostat, 2015).

Yapılan çalışmalara göre Çin'deki AAÇ oluşumu 2007 ve 2013 yılları arasında yıllık ortalama %13 oranında artmıştır. 2013 yılında 6.25 milyon ton SAÇ üretilmiştir (Yang ve ark., 2015). AAÇ' nun yönetiminde, tüm yönetim stratejileri uygulanırken nihai ürünlere uygun zaman ve piyasa analizi yapılması gerekmektedir birlikte, yönetim şemaları ana amaca uygun olmayan riskli stratejileri reddetmelidir (Kacprzak ve ark., 2017). AAT'lerin sayısının çoğalması ile birlikte AAÇ de artmaktadır. Bu nedenle, AAÇ nin optimizasyon yöntemleri, geri kazanılması gereken parametreler (fosfor,azot,karbon ve enerji), yeni çıkan kirlenici parametreleri günümüzün ve geleceğın önemli araştırma konularıdır (Zhang ve ark., 2017). Biyogaz enerjisi konusunda ise yirminci yüzyılın ilk yarısında biyogaz üretimi popüler olmuşken 1950'den sonra popülerliğini kaybetmiştir. Sebebi ise fosil yakıt fiyatlarındaki düşüş ve yakıtların kolay erişebilirliği olmuştur. Bununla birlikte Asya'nın kırsal kesimlerinde alternatif enerji kaynaklarının erişimi kolay olmuştur (Appels ve ark., 2011).

Anaerobik arıtım ile biyogaz eldesi 1970’li yılların enerji krizinden sonra yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul görmüştür. Ancak yönetim, tasarım, teknoloji ve bilimsel altyapı eksikliğinden dolayı yavaş gelişim göstermiştir (Kevin ve Wilkinson, 2011). Biyogazdan 2000’li yıllarda küresel enerji üretimi 280,000 TJ (Terajoule) iken, teknolojinin gelişmesi ve bilimsel çalışmaların hız kazanmasıyla 2014’te dünyada biyogazdan enerji eldesi 1.3 milyon TJ’ye yükselmiştir. Yıllık ortalama %13.2 artış olmuştur (IEA, 2016). Biyogaz üretimi konusunda, gelişmekte olan ülkelerde ve kırsal bölgelerde küçük çaplı tesislerin kurulması yaygınken, gelişmiş ülkelerde ise büyük çaplı tesisler kurulmuş ve en çok biyogaz enerjisi üreten ülkeler AB ve ABD ülkeleri olmuştur (Vasco ve ark., 2018). Türkiye’de biyogaz üretimi tarımsal ve hayvansal atıklardan ne kadar bir kapasiteye sahip olduğu bilinmemekle birlikte sanayi ve belediyeler bünyesinde işletilmekte olan tesisler vardır ve farklı illerde konumlanmaktadır. Kocaeli, İstanbul, Gaziantep, Konya vb. gibi illerde yer almaktadır. Türkiye önemli miktarda organik atık potansiyeline sahip, biyo enerji teknolojisini kullanarak enerji bağımlılığını ve çevre kirliliğini azaltılabilecek kapasiteye sahiptir.

1.1. Tezin Kapsam, Amaç ve Önemi

Arıtma çamurlarının anaerobik stabilizasyonunu optimize etmek amacıyla birincil ve ikincil çamurların ayrı çürütülmesi araştırılması gereken bir konudur. Yapılan bu tez çalışması kapsamında evsel AÇ fraksiyonlarının birincil çamur (ön çöktürme çamuru (ÖÇÇ)), ikincil çamur (fazla biyolojik çamur (FBC)) ve karışık çamurun (KÇ) laboratuvar ölçekli yarı-sürekli anaerobik reaktörlerde 40°C üst mezofilik sıcaklıkta farklı OYH’larında metan eldesi, dönüşümü, UKM giderimi ve stabilize çamurun TKM, UKM, susuzlaşma kabiliyeti, yağ-gres (YG) ve nütrient içeriği araştırılmıştır. Bu çalışmada uygulanmış olan işletme koşullarında giderimlerin yanısıra alkalinite/asidite (toplam UYA) dengesi ve toksisite etkisi (H₂S) incelenmiştir.

Çalışmanın ana amacı çamur fraksiyonlarının ayrı stabilizasyonunun farklı bekletme sürelerinde hem metan üretimine hem de son ürün stabilize çamurun bertarafına yönelik iyileşme sağlanması ile mevcut AAT çamur hattı işletimine yeni bir model oluşturmaktır. Bu çalışma sonuçlarına göre ÖÇÇ, FBC ve KÇ fraksiyonlarının 40°C mezofilik sıcaklıkta ayrı anaerobik stabilizasyonu, UKM ve YG giderimini ve

stabilize çamurun kalitesini arttıracak bir anaerobik çürütme işletim modeli olarak potansiyeli ortaya konmuş ve önerilmiştir.

Çalışmanın önemi mevcut AAT çamur hattı için daha verimli ve etkin bir stabilizasyon modelinin her yönüyle ortaya konmasıdır. Her iki fraksiyon farklı oranda organik içeriği, ayrışabilirlik, susuzlaşma özelliği ve patojen içeriğine sahiptir. İki fraksiyonun ayrı çürütülmesi çamur hattında stabilizasyon etkinliğini ve dolayısıyla nihai çamur kalitesi ile enerji üretimini arttırabilir ve işletim problemlerini azaltabilir. Bu amaçla çamur fraksiyonlarından metan oluşumunu ve çıkış stabilize çamur kalitesinin arttıracak optimum bekleme süresi ve yükleme hızlarının belirlenmesi önem arz etmektedir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Arıtma Çamuru

Atıksu arıtma tesislerinin farklı ünitelerinden, arıtım türü ve ünitelerine bağlı olarak çok farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip bir atık türü ortaya çıkmaktadır. Bu tip atık türleri çeşitli organik ve inorganik maddeler içermektedir. Organik bileşenlerin yüzdesi 60 ile 80 arasında değişir; bozulmaya ve kokuşmaya eğilimlidir. Ağırılıkça %0.25-1.2 katı madde içerir ve büyük hacim işgal eder. Çok akışkan, çevreye koku yayan ve bertarafı zor olan bir atık türüdür (Filibeli, 2017).

Çizelge 2.1. Ham ÖÇÇ ve FBÇ nin tipik kimyasal bileşenler (EPA, 1979; Metcalf ve Eddy, 2014)

Parametreler	Ham ÖÇÇ değerleri		Ham FBÇ değerleri	
	Aralık	Normal	Aralık ormal	N
Toplam katı madde (TKM),%	1 - 6	3	0.4 – 1.2	0.8
Uçucu katı madde (%TKM) cinsinden	60 – 85	75	60 – 85	70
Yağ Gres (%TKM) cinsinden	5 – 8	6	5 – 12	8
Protein (%TKM) cinsinden	20 – 30	25	32 – 41	36
Fosfor (P ₂ O ₅ , %TKM) cinsinden	1.5 - 4	2.5	2.4 - 5	3.8
Potasyum (K ₂ O, %TKM) cinsinden	0 - 1	0.4	0.5 – 0.7	0.6
Selüloz (%TKM) cinsinden	8 - 15	10	---	---
Demir (sülfid olarak değil)	2 – 4	2.5	---	---
Silis (SiO ₂ , %TKM)	15 – 20	---	---	---
pH	5 – 8	6	6.5 - 8	7.1
Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	500 – 1500	600	580 – 1100	790
Organik asit (mg/L HAc)	200 – 2000	500	1100 – 1700	1350
Enerji içeriği, kJ/Kg UAKM	23000 – 29000	25000	19000 – 23000	20000

2.2. Arıtma Çamurunun Stabilizasyon Prosesleri

AÇ stabilizasyonunun amaçları, patojenleri yok etmek, rahatsız edici kokuları gidermek ve çürüme eğilimini gidermektir. AAÇ'nin oluşturduğu bütün olumsuz etkiler ve risk teşkil eden faktörleri minimize etmek veya bir şekilde engellemek ya da ortadan kaldırma işlemlerini içermektedir (Filibeli, 2017).

Stabilizasyon yöntemleri sırası ile:

- Alkalinite (Kireç) stabilizasyonu,
- Isıl işlem,
- Kompostlama,
- Aerobik çürütme,
- Anaerobik çürütmeden ibarettir.

2.2.1. Alkalinite stabilizasyonu

Çamurun pH'sını kireç ilavesi ile 12'nin üzerine çıkartmak suretiyle mikroorganizmaların aktivitesini engellemek amaçlanır. Kolay başlatılıp durdurulabilme ve basit olma, A veya B sınıfı ürün elde edilebilme avantajları; özellikle alkalinitesi yüksek olan topraklar dahil çeşitli topraklarda uygulanamama, kireç ilavesinin kütle ve hacimde önemli miktarda artışa sebep olması, çıkış çamurunda fosfor ve azot içeriğinin az olması gibi dezavantajları vardır (Metcalf ve Eddy, 2014).

2.2.2. Aerobik çürütme

Biyolojik bir işlemdir. İşlem sonucunda su, karbondioksit, amonyak ve enerji oluşur. Besi kıtlığı başladığında mikroorganizmalar endojen faza geçer. Hücrelerin %75-80'i oksitlenirken, %20-25'lik kısmı indirgenemeyen maddelerden oluşur. Sistemin işletmesi kolay, ancak karıştırma ve oksijen yönünden maliyetlidir (Filibeli, 2017).

2.2.3. Kompostlaştırma

Aerobik bir süreçtir ve nihai ürün elde edilebilir. İyi kompostlama işlemi uygulanırsa B veya A sınıfı ürün elde edilebilir. Su içeriği %70-80 olan çamurlar iyi yığın oluşturur. İşlem sırasında koku kontrolüne dikkat edilmelidir. Bozunma esnasında sıcaklık 70°C'ye çıkabilmektedir (Metcalf ve Eddy, 2014).

2.2.4. Anaerobik çürütme

Oksijensiz ortamda organik ve inorganik moleküllerin parçalanmasıdır. Bu yöntem eski bir yöntemdir günümüzde çoğu endüstriyel kaynaklı AAÇ'larına uygulanmaktadır.

2.2.5. Isıl işlem

Yüksek basınç, yüksek sıcaklık ($T > 260^{\circ}\text{C}$) koşullarında kısa sürede (yaklaşık 30 dk) çamurun ısıya tabi tutulmasıdır. A sınıfı ürün elde edilebilir. Kalifiye personel gerektirir ve enerji tüketimi yüksektir (Filibeli, 2017).

2.3. Anaerobik Çürütme

Çamurun bu tip stabilizasyon yönteminin tarihi uzun yıllara dayanır. Farklı kıtaların, farklı ülkelerin kırsal bölgelerinde enerji üretim amaçlı çamur çürütme denenmiştir. Ancak o devirlerin fosil enerji kaynakları bol, ucuz ve ulaşılabilirdi. En önemlisi insanoğlunun enerjiye bu kadar bağlı olmaması sebebiyle biyoenerji üretim tekniklerinde başarısız olunmuştur. Ancak küresel değişim, giderek artan türlü atıklar, sera gazlarının artışı, bilindik enerji kaynaklarının mevcut tüketim hızına oranla kısa sürede tükenmesi gibi sorunlara çözüm bulmak amaçlı alternatif enerji kaynakları aranmaya başlanmıştır (Türker ve Pakmaya, 2008; Kevin ve Wilkinson, 2011).

Anaerobik çürütme prosesleri yenilenebilir enerji kollarından biri olarak Türkiye'de devletin ilgili birimleri bunun bilincinde olup atıktan enerji eldesi için çalışmalar yapmaktadırlar (Çevre-Ş, 2017). Bütün ülkelerde anaerobik çürütme üzerinde yoğun çalışmalar devam etmektedir. Dünyada 2008 yılı itibariyle 3000 civarı anaerobik arıtma tesisi olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalara göre dünyada anaerobik çürütme tesis sayısına göre sırasıyla ABD, Hindistan, Japonya, Almanya ve diğer ülkelerden sonra Türkiye 15. sırada yer almıştır (Totzke, 2008; Türker, 2008).

Arıtma Çamurunun Anaerobik Çürütmesinin Avantajları:

- Çevre dostu bir yöntem
- Düşük işletim maliyeti
- Geniş alan ve fazla enerji gerekmez.
- Yüksek OYH (5-30 kg KOİ/m³.gün)
- Alternatif yöntemlere kıyasla daha düşük çıkış çamuru eldesi
- Oluşan çamur da belli standartlara sağlamak şartı ile tarımda uygulanabilir
- Enerji eldesi mümkündür ve üretilen (çıkış çamuru) son ürün de değerlendirilir.
- Her 10,000 Btu'luk enerjiden 1 kWh'lik elektrik elde edilmektedir.
- Anaerobik arıtmada giderilen her 1000 kg KOİ'de (400 m³) 12x10⁶ Btu'luk bir enerji eldesi

olarak sıralanabilir.

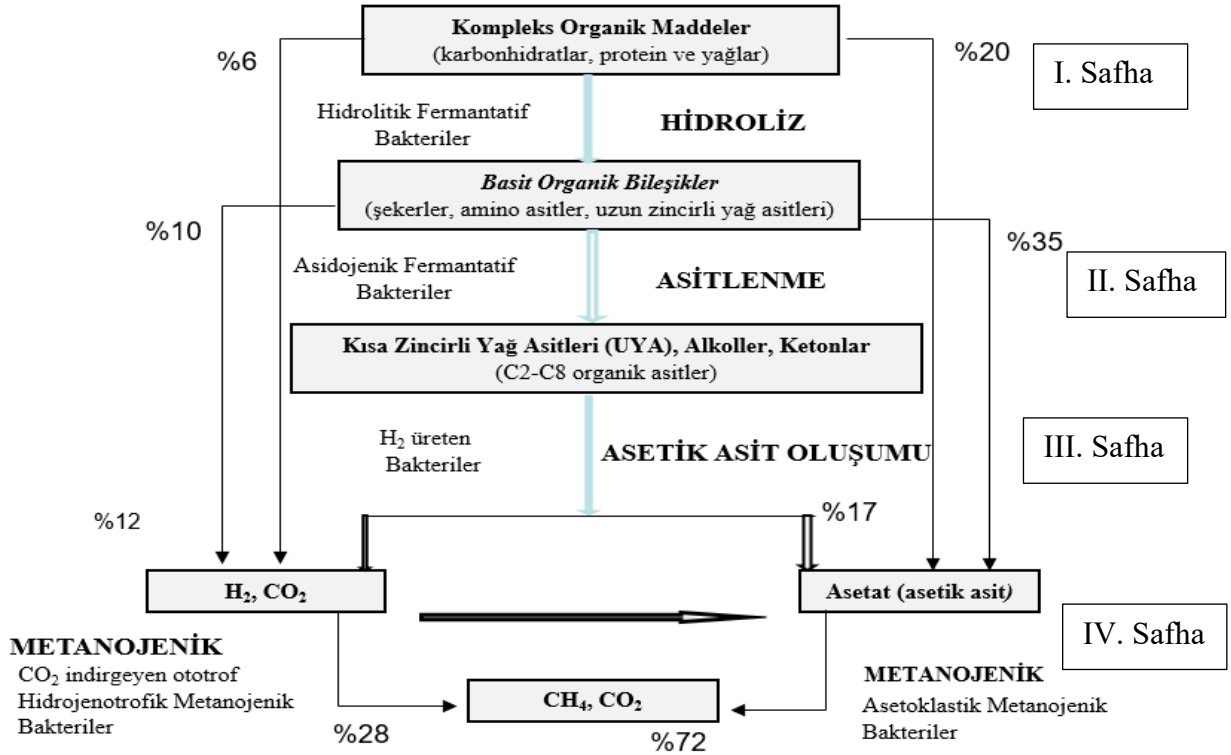
Dezavantajları;

- Uzun adaptasyon süreci gerektirir.
- NH₄-N ihtiyacı (minimum 40-70 mg/L).
- Biyokütle ihtiyacı (>10,000 mg MLVSS/L).
- Sistem prosesi hassastır, reaktörler devamlı izleme gerektirir.
- Proses (iz elementler, toksisite ve düşük sıcaklık) gibi parametrelere karşı hassasiyet

olarak sıralabilir.

2.4. Anaerobik Çürütmenin Mikrobiyolojisi

Bu prosesin çeşitli aşamalarında çok sayıda farklı türden oluşan mikroorganizmaların birlikte ve aynı ortamda başarılı ve uyumlu çalışmaları sonucunda metan üretimi gerçekleşmektedir. Bu süreç oldukça karmaşık olması ile birlikte asetik asit kullananlar ve hidrojen kullanan metan arkeleri; bütirik, propiyonik asit ve asetik asit üreten asit bakteriler önemli rol oynayan bakteri gruplarıdır. Anaerobik çürütme prosesi en basit halde hidroliz, asit üretimi ve metan üretimi olarak incelenebilir (Şekil 2.1) (Öztürk, 2007).



Şekil 2.1. Anaerobik çürüme sürecinin mikrobiyolojisi (Filibeli, 2017)

2.4.1. Hidroliz

Bu süreç hücre dışı gerçekleşen bir süreçtir, oldukça yavaş ve hız sınırlayıcı bir aşamadır. Kimyasal yapısı kompleks olan bileşenler hücre zarına geçemeyip hücre dışında daha küçük moleküllere ayrıştırılır. Lipitler, proteinler ve karbonhidratlar basit organik bileşenlere (şekerler, amino asitler ve uzun zincirli yağ asitleri (UZYA)) dönüşür. Çamur yaşı, pH ve sıcaklık faktörleri reaksiyon hızında önemli ölçüde etkilidir (Öztürk, 2007).

2.4.2. Asit üretimi

Kararlı olmayan işletme şartlarında, hidroliz aşamasında parçalanmış ürünler asetik asit üretiminin yanı sıra izobütirik, propiyonik, bütirik ve izovalerik gibi yağ asitlerine dönüşür. İki farklı bakteri grubundan fermantasyon (asidojenik) bakterileri hidroliz sonucunda oluşan bileşenleri yağ asitlerine dönüştürür. Asetojen bakteriler ise kullandığı karbonhidratla asetik asit üretimini sağlar. Sülfat gideren bakteriler SO₄⁻²'i indirgeyerek H₂S'e dönüştürür.

S⁻² metan bakterileri için gerekli bir nütrienttir. Proteinli maddelerin hidrolizi ve ortamdaki SO₄⁻²'in indirgenmesi ile elde edilmesi gereklidir. Ancak ortamdaki SO₄⁻²

konsantrasyonu yüksek olursa indirgeyici bakterilerin aktivitesiyle H₂S konsantrasyonu yükselir ve metan arkeleri için toksik seviyeye çıkar. Metan üretim hızı asit üretim hızına göre daha yavaştır. Sistemde metan aşamasında asit birikimine sebep olur (Öztürk, 2007; Metcalf ve Eddy, 2014)

2.4.3. Metan üretimi

Çamurun anaerobik çürütmesi sonucunda elde edilen metan gazı ortamın koşuluyla değişmekle birlikte, 28%'i CO₂ ve H₂'i çeviren hidrojenotrofik ve %72'si asetik asiti metana çeviren asetiklastik metan arkeleri tarafından üretilmektedir. Asetik asit tüketen metanojenlerin reaksiyon hızı yavaştır. Hidroliz aşamasından sonra hız sınırlayıcı olabilir. CO₂ ve H₂ tüketen türler daha hızlı çoğalırlar. Bu hızlı çoğalma özellikleri sistemde H₂ konsantrasyonunu düşürür. Dolayısıyla sistemdeki diğer reaksiyon ve mikroorganizma türleri normal aktivitelerine devam ederler (Erdirençelebi, 2016).

Dünyanın çoğu yerinde işletilen AAT'nin yaklaşık işletim maliyetinin %80'i elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Anaerobik çürütmeden elde edilen metan gazının elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle gereken elektrik tüketiminin yarısından fazlası karşılanabilir (Deublein ve Steinhäuser, 2008).

2.5. Anaerobik Çürütmenin Proses Esasları

2.5.1. Sıcaklık

Anaerobik çürütme sisteminde bakterilerin aktivitesini etkileyen önemli parametrelerden biri sıcaklıktır. Bakterilerin aktivitesi ve metan üretimi doğru orantılıdır. Ancak bakterilerin aktivitesi sıcaklık ile ters orantılıdır. Bu sebeple psikofilik (10<T<20°C), mezofilik (20<T<40°C) ve termofilik (40<T<60°C) bakteriler sıcaklık düşüşünden hemen etkilenirler. Gerçek ölçekli sistemlerde ise optimum değerler olarak sırası ile 15-18, 35-38 ve 55-57°C yaygın kullanılan rakamlardır (Erdirençelebi, 2016). Mezofilik sıcaklık metan üretimi için ideal olmasıyla birlikte termofilik sıcaklık hidroliz işlemini hızlandırır. Bundan ötürü son zamanlarda iki farklı sıcaklık derecelerinden aynı sistemde yararlanılmaya başlanmıştır. Mezofilik artı termofilik ve termofilik ön işlem artı mezofilik işlem gibi dizaynlar yaygınlaşmıştır (Metcalf ve Eddy, 2014).

2.5.2. Hidrolik bekletme süresi (HBS)

AÇ reaktörlerinde mikroorganizmaların çoğalmaları için ihtiyaç duyulan süreye hidrolik bekletme süresi (HBS) olarak tanımlanır. Belli bir sıcaklık aralığında enerji üretimi, patojen giderimi ve çıkış çamur kalitesi açısından HBS oldukça önemli bir parametredir. Yüksek HBS'lerde daha iyi sonuçlar elde edilirken düşük HBS'lerde mikroorganizmalar yeteri kadar çoğalamayıp düşük enerji verimi ve düşük kalitede çıkış çamuru elde edilir. HBS sürecinin uzun olması AÇ için en önemli dezavantaj olarak görülmektedir. HBS'yi düşürmekle birlikte yüksek organik yüklerde işletilen sistemlerin karşılaştırılmasında anaerobik membran biyoreaktör (AnMBR) prosesler başarılı sonuçlar vermiştir (Simon ve ark., 2018).

2.5.3. pH

Bakterilerin normal aktivitelerini sürdürebilmeleri için çürütme prosesinin işletimi optimum pH: 6-8.5 aralığında gerçekleştirir. Mikroorganizmaların türüne bağlı olarak optimum pH aralığı değişmektedir. pH:8.5'un üstünde metanlaşmadaki düşüş, amonyum iyonunun ($\text{NH}_4\text{-N}$), iyonize olmayan ve toksik amonyak formuna (NH_3) dönüşmesine bağlanabilir. pH: 7-7.5 aralığındayken metan üreten arkeler ve sülfat indirgeyen bakteriler benzer büyüme hızı gösterir. pH'nın 6.0 ve daha düşük değerlerinde metanojenler en fazla 24 saat dayanabilirler. Asidik seviyede H_2S toksisitesi etkindir ve bikarbonat alkalinitesi bu değerlerde sistemi artık tamponlayamayacağı için sistem geri dönülemeyecek ölçüde kararsız hale gelir (Vincent ve ark., 1998; Erdirençelebi, 2016)

2.5.4. Alkalinite

AÇ proseslerinde bulunan tampon maddelerden kalsiyum ve magnezyum gibi bikarbonatlar ham çamurda bulunurken, amonyum bikarbonatı ise proteinlerin parçalanmasıyla meydana gelir. Sistemde oluşan CO_2 ve UYA'yı tamponlayarak ortamdaki pH'yı dengeler. İyi kurulmuş bir sistemde toplam alkalinite 2000-5000mg/L aralığında olur (Metcalf ve Eddy, 2014).

CO_2 genellikle AÇ sistemlerde diğer zayıf asitlerden daha fazla üretildiği için nötralize olması için yeterli derecede bikarbonat alkalinitesi mevcut olmalıdır. Anaerobik reaktörler özellikle şok yüklemelerin ardından yüksek derecede UYA

oluşumuna maruz kalırlar. Asitlerin metana çevrilmesi yavaş bir proses olduğundan sistemde birikecek asitlerin nötralizasyonu için fazladan alkalinite mevcut olmalıdır. AÇ prosesleri oldukça hassastır ve devamlı olarak (sıcaklık, pH, UYA, alkalinite) çok sayıda ölçüm ve analiz gerektirir. Optimum metan üretimi için her zaman AÇ prosesi normal çalışmalıdır. Bu amaçla bazı parametrelerin otomatik olarak ölçülmesi için sensörlü (çeşitli matematiksel ve algoritmik işlemlerle) ölçüm cihazları geliştirilmiştir (Ward ve ark., 2011; Wang ve ark., 2018).

2.5.5. Uçucu yağ asitleri (UYA)

Sistemde UYA üreten bakteriler metan üreten arkelere nazaran daha hızlı çoğalırlar ve bunun sonucunda da oluşan UYA'lar metana dönüşmeden sistemde asit birikimine sebebiyet verebilirler. UYA konsantrasyonunun değişmesiyle birlikte pH, alkalinite ve mikroorganizmaların popülasyonu değişir. Gaz üretim miktarı ve sistemin kararlılığı bozulur. İyi işletilen sistemlerde UYA<300 mg/L olması beklenir. AAÇ sisteminin en zor kısmı bazı parametrelerin sıklıkla izlenmesinin gerekmesidir. Bu işi kolaylaştırmak için UYA izleme sensörleri geliştirilmiştir (Ruiz ve ark., 2008; Bouvier ve ark., 2009).

2.5.6. Nütrient maddeler

AÇ'deki mikroorganizmaların ihtiyacı olan nütrient maddeler bazı atıksu çeşitlerinde yeteri miktarda bulunurken bazı endüstriyel atıksularda ise bulunmamaktadır. Bakterilerin büyümesinde önemli rol oynayan makro besinler fosfor ve azottur. Stabil bir aktif çamur prosesi için KOİ:N:P oranları 100:5:1 iken anaerobik çürütme için bunun 1/5-1/10'unda olması yeterlidir (Muhcu, 2012).

Azot içeriği çamurlarda %1-6 oranındayken, ticari gübrelerde %11-82 oranındadır. Fosfor, atıksu arıtma çamurlarında %1-7 aralığında seyrederken, ticari gübrelerde %8-24 oranında gerçekleşir (Tezcan, 2007).

2.5.6. Ağır metaller

Arıtma çamurlarında atıksuyun çeşidine bağlı olarak Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn gibi çok sayıda ağır metal bulunur (Çizelge 2.2). Bütün canlılar ve çevre için olumsuz etkileri vardır (Doğan, 2011). Anaerobik arıtmada aktivite gösteren bakteriler içim durum değişir. Her bakteri türünün kendine özgü iz elementlere gereksinimi vardır.

Metan üretimi birçok farklı metanojen tarafından gerçekleştirilir ki her bir grubun farklı çevresel ve iz metal ihtiyacı vardır. Metanojenler için gerekli iz metaller: Demir, Kobalt, Nikel, Çinko, Bakır, Mangan, Molibdenum, Selenyum, Tungsten ve Boron'dur. Atomik adsorpsiyon ile ölçülmesi ve önemli miktarlarda bulunması da sistem tarafından kullanılabilir durumda olduğunu göstermez. Kuvvetli bağlarla şelat oluşturmaları halinde mikroorganizmalar bunları kullanamayacaktır (Metcalf ve Eddy, 2014; Erdirençelebi, 2016).

Çizelge 2.2. Arıtma çamurlarında bulunan ağır metaller ve sınır değerleri (Doğan, 2011).

Ağır metaller	Ağır metal konsantrasyonları (mg/kg kuru madde)	AB Direktifi, 86/278/EEC (mg/kg kuru madde)
Cd	0,4-3,8	20-40
Cr	16-275	1000-1750
Cu	39-641	1000-1750
Hg	0,3-3	16-25
Ni	9-90	300-400
Pb	13-221	750-1200
Zn	142-2000	2500-4000

2.5.7. Toksikite

AÇ işlemlerinde çeşitli maddeler gerekli dozajın dışında olduğu zaman toksisite etkisi yaratır. Sülfür bakterilerinin metabolizması için gerekli bir nütrient olmasına karşın, sülfürün bulunması ortamdaki Fe^{2+} 'yi çökerterek ortamın Fe^{2+} konsantrasyonunu düşürür. Sülfatın H_2S oluşturması ortamda ciddi problemlere yol açmaktadır. KOI/SO_4 oranı dörtten düşük olursa çamurun anaerobik arıtımı ekonomik olmaz. Sülfat indirgeyen bakteri (SİB) ve metan üreten arkeler (MÜA) ortak besin maddeleri tüketir. Sülfür konsantrasyonu yükselince metan üretimi düşer ve proses işletmesinde sorunlar yaşanır. H_2S konsantrasyonunun SİB ve MÜA'ya etkisi 100-200 mg/L civarında olduğu müddetçe tolere edilebilir. Amonyak çoğunlukla amonyum NH_4^+ iyonu olarak bulunur ve NH_3-N hassas olan bakteri grupları üzerinde toksik etki yaratır. NH_3-N ve NH_4^+ oranı pH'ya göre değişir. Yüksek pH'da NH_3-N daha fazladır ve amonyak toksisitesi gerçekleşmesi muhtemeldir. Yaklaşık 100 mg/L'nin üzerinde konsantrasyonlarda işleme bağlı olmakla birlikte toksisite oluşur veya oluşmayabilir (Erdirençelebi, 2016).

2.6. Anaerobik çürütme prosesleri

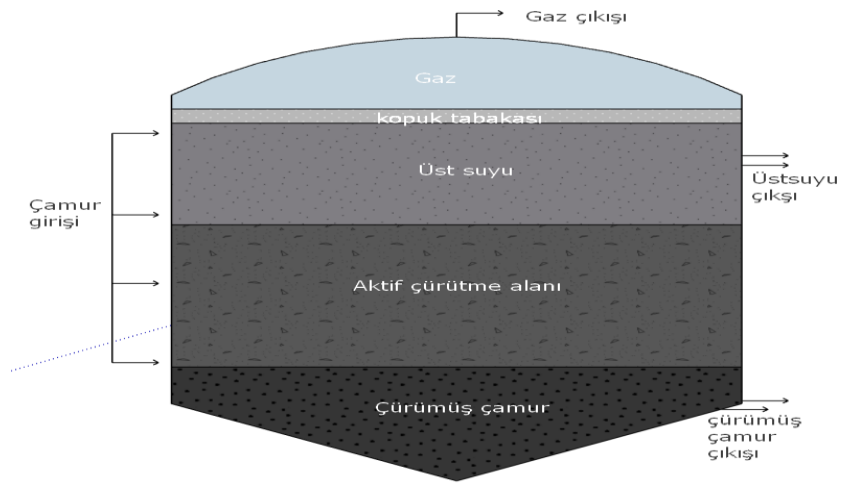
Bu amaca hizmet eden üç alternatif vardır:

- Askıda büyüme
- Çamur örtüsü
- Bağlı büyüme

Askıda büyüme prosesi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu proses ardışık kesikli veya tam karışımlı (temaslı) reaktörler olarak tasarlanır (Mackenzie ve Davis, 2015) .

2.6.1. Klasik çürütücüler veya standart hızlı anaerobik çürütücüler

Çamur çürütme çok eski stabilizasyon yöntemlerinden biridir. İlk örnekler olan septik tanklar ve Imhoff tankları anaerobik çamur çürütme mantığı ile çalışmakta idi. Eski zamanlarda enerji kaynaklarının bolluğundan dolayı biyoenerji ekonomik bir enerji kaynağı olarak düşünülmezdi. Ancak günümüzün şartlarına göre en önemli enerji kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Klasik çürütücülerde çamur doğal hali ile ısıl işlem uygulanmadan, karıştırılmadan çürütücü tankına aktarılmıştır. Çamur 30-60 gün çürütme tankında bekletilerek, çürütme, yoğunlaştırma ve üst suyu ayırıştırması aynı tankta gerçekleştirilmiştir. HBS'nin uzun olmasından dolayı düşük hacimler için uygundur. Şematik olarak Şekil 2.2. de gösterilmiştir (Filibeli, 2017).

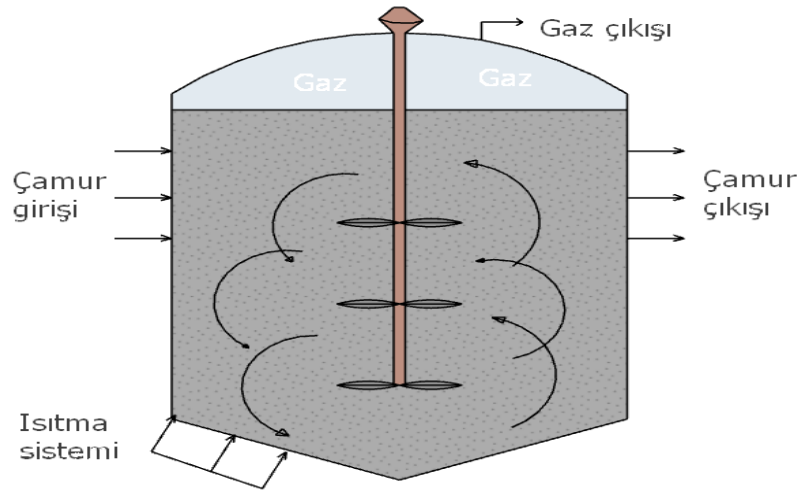


Şekil 2.2. Klasik anaerobik çamur çürütme tankı

2.6.2. Mezofilik anaerobik çürütme

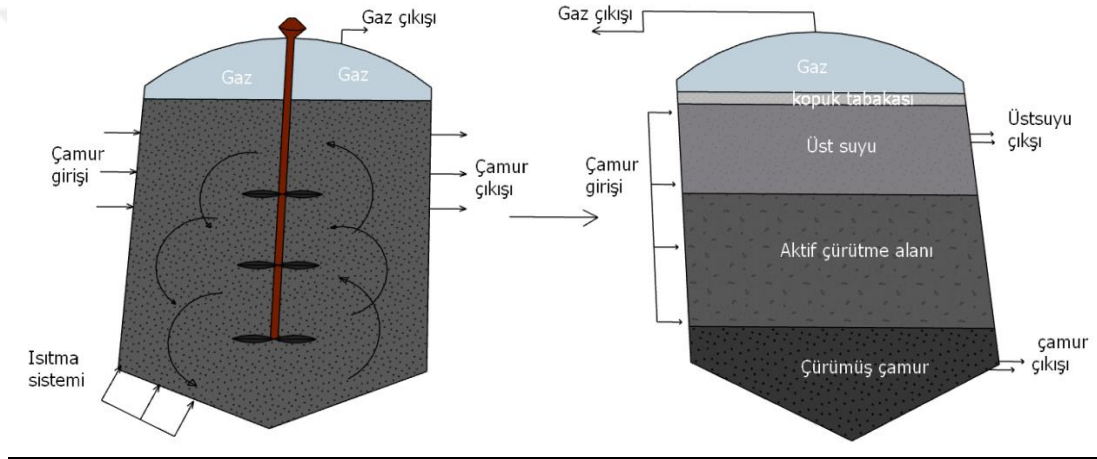
Mezofilik anaerobik çürütmede; 35-40°C sıcaklık aralığında yüksek hızlı tek kademeli çamur çürütme, iki kademeli yüksek hızlı çamur çürütme ve ayrı çürütme prosesleri uygulanmaktadır

Tek kademeli yüksek hızlı mezofilik çürütücüde ısıtma, karıştırma ve düzenli besleme işlemleri uygulanır. Tabakalaşma gerçekleşmez, ısıtma işlemleri ve karıştırma işlemleri yardımıyla optimum çürütme sağlanır. Reaktörün beslenmesi çok önemli olup sürekli beslemeli veya her 30 dk ila 2 saat periyodunda besleme yapılmalı, besleme düzgün bir şekilde ve reaktörün sabit koşullarını bozmayacak şekilde olmalıdır. Günlük 8 veya 24 saat periyotlarla beslenen çürütücülerde beslemeden önce çürütülmüş çamurun alınması, beslemeden sonra çürütülmüş çamurun alınmasına göre patojen içeriği açısından daha avantajlıdır. Çürütücüde yaklaşık %45 - 50 kadar UKM giderimi sağlanır. Bu giderimin tek ürünü biyogazdır. Çürütme tanklarının kapakları sabit veya hareketli olarak tasarlanabilir. Oluşan biyogaz basınçlı veya basınçsız tanklarda depolanır. Şematik olarak Şekil 2.3’de gösterilmiştir (Metcalf ve Eddy, 2014).



Şekil 2.3. Tek kademeli yüksek hızlı mezofilik çürütücü tankı

İki kademeli yüksek hızlı mezofilik çürütücü geçmişte kullanılan ve günümüzde bazı çamur çürütücülerde de kullanılmakta olan sistemdir. İki tanktan oluşur. Birinci tankta çürütme işlemi gerçekleştirilir; tank ısıtma ve karıştırma ekipmanlarıyla donatılır. Genelde ikinci tank depo amaçlı kullanılır ve ısıtma, karıştırma işlemleri uygulanmaz. Bazen üstü açık lagünler kullanılır ve bazen de üstü kapalı tanklar kullanılmaktadır. Üstü kapalı olan tankların avantajı ise devam etmekte olan çürüme işleminin devamını sağlamasıdır. Oluşan toplam biyogazın yaklaşık %10'luk kısmı ikinci tanktan elde edilir. Şematik olarak Şekil 2.4'de gösterilmiştir (Erdirençelebi, 2016).



Şekil 2.4. İki kademeli yüksek hızlı mezofilik çürütücü tankı

Yaygın olarak kullanılan sistemler karışık sistemlerdir. Birincil ve ikincil çamur birlikte anaerobik çürütmeye tabi tutulur. Birincil ve ikincil çamurun birlikte çürütülmesi HBS'nin farklılığından dolayı daha fazla hacim gerektirir. Ayrık sistemde, çürütülmüş birincil çamur iyi süzülebilme kabiliyetine sahiptir. İkincil çamurun HBS süresi kısalmalı ve bunun sonucunda oluşan hacim daha az olur. Ayrık sistemin avantajı ise birincil çamur için yüksek ayrışabilirliğe sahip olması ve ikincil çamur için kısa HBS elde edilmesidir (Metcalf ve Eddy, 2014).

2.6.3. Anaerobik Termofilik Çürütme

Termofilik çürütmenin amacı, çürütme sonucunda bütün alanlarda (toprak ve hassas zirai alan) uygulanabilir A sınıfı biyokütle kalitesine ulaşmak ve UKM konsantrasyonunu düşürmektir. Termofilik anaerobik çürütmede sistem 50-57°C aralığında işletilir. Bu sıcaklıkta aktivite gösteren bakteriler mezofilik sıcaklığa göre daha hızlı çürütme işlemini gerçekleştirir. Tek fazlı termofilik sistem mezofilik sisteme kıyasla daha iyi patojen giderimini sağlar. Ancak EPA standartlarına göre A sınıfı biyokütle oluşturamaz. A sınıfı biyokütle ulaşmak için geliştirilmiş fazlı sistemler kullanılır (Metcalf ve Eddy, 2014). Termofilik ile mezofilik anaerobik çürütmenin karşılaştırılmasında olumlu yönler (Moen, 2000):

- ✓ Fazlı sistem olarak çalıştırılırsa A sınıfı biyokütleyle erişebilir,
- ✓ UKM giderimi ve reaksiyon hızı yüksektir,
- ✓ Düşük HBS ve düşük hacim gerektirir,
- ✓ Yapısal olarak da geleneksel mezofilik çürütme tanklarına benzer.

Olumsuz yönleri:

- Sistemin ısıtılması için yüksek miktarda enerji gerektirir,
- Sistemin ısı ihtiyacını karşılamak için çok sayıda ekipman gerektirir,
- Sistem hassas olduğu zor stabilite sağlanır,
- Susuzlaşma suyunda amonyak konsantrasyonu artar,
- Çamurun susuzlaşma özelliği düşüktür.

2.6.4. Anaerobik çürütmenin tank geometrisi

Geleneksel olarak kullanılan anaerobik çürütme tankları çoğunlukla silindirik şekle sahiptir. Anaerobik çürütme için ABD’de çoğunlukla sıg ve silindirik tanklar kullanılmıştır. Bu tanklar yüzer kapaklı veya sabit kapaklı şekilde kullanılmıştır. Şematik olarak Şekil 2.5’de gösterilmiştir.

Almanya’nın geleneksel anaerobik çürütme tankı, derin, silindirik, alt ve üst kısmı dik eğimli geometriye sahiptir. Alman mühendisleri anaerobik çürütme tankının geometrisini optimize edebilmek için çalışmışlar ve çalışmaların sonucunda yumurta şeklinde bir geometri önermişlerdir. Şematik olarak Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Çoğunlukla Avrupa ülkelerinde ve ABD’de modern tesislerde yumurta şekli anaerobik çürütme tankının kullanımı yaygın hale gelmiştir. Doğal olarak her iki tank

geometrisinin (silindirik ve yumurta şekli) avantaj ve dezavantajları vardır (Brinkman ve Voss, 1998). Geleneksel çürütme tanklarının avantajları:

- ✓ Reaktörün geometrisi hacimce büyük miktarda gaz depolama kabiliyeti sağlar,
- ✓ Gaz tutucu kapaklarla donatılabilir olması,
- ✓ İnşaat maliyetinin uygun ve yarışılabilir düzeyde olması,
- ✓ Dikkat çekmeyecek bir yapı şekline sahip olması,
- ✓ Geleneksel yapı tekniklerinin uygulanabilir olmasıdır.

Dezavantajları:

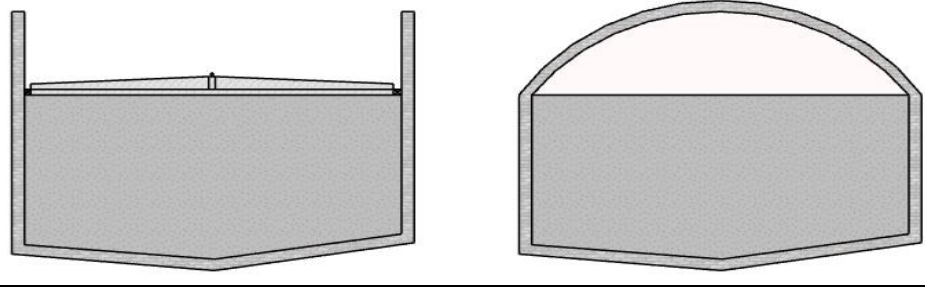
- Tank geometrisinden dolayı yetersiz karışım ve ölü bölge oluşması,
- Yetersiz karışım kum birikimine neden olur,
- Tankın geniş yüzey alanı kir ve köpük birikimine sebebiyet verir,
- Biriken kum ve kirlerin temizlenebilmesi için sistemin devre dışı bırakılması gerekir.

Modern (yumurta şekli) anaerobik çürütme tankının avantajları:

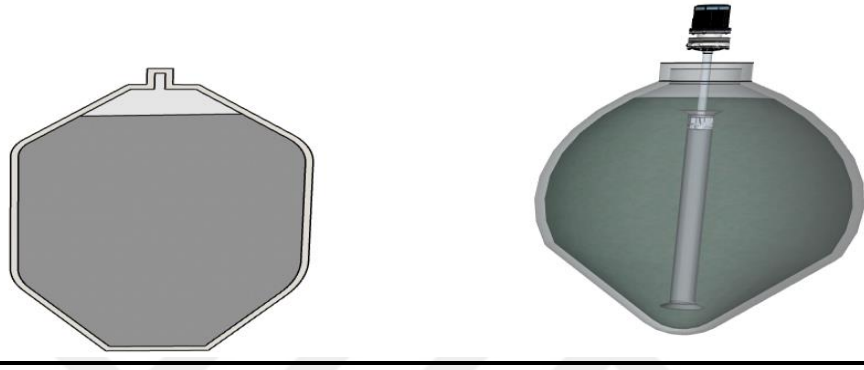
- ✓ Tank geometrisi gereği etkin karışım sağlanması,
- ✓ Minimum düzeyde kum birikmesi,
- ✓ Birikim oluşumlarının azaltılması,
- ✓ Daha homojen biyokütleyle erişmesi,
- ✓ Düşük işletme ve bakım masrafları, devamlı temizleme gerektirmemesi,
- ✓ Düşük ayak izi ve az alan işgal edilmesi,
- ✓ Köpüklenme oluşumunun minimuma indirilmiş olması (gaz karışımı hariç).

Dezavantajları:

- Düşük gaz depolama alanına sahip olup dışarda ek depo gerektirebilir,
- Yüksek profilli olması estetik açıdan hoş olmayabilir,
- Tesisin tepesine ulaşmak zahmetlidir ve ekipman gerekebilir,
- Temelin oturtulması için sismik olmayan sağlam zemin ve sağlam temel gerektirir,
- Yüksek yapım maliyeti gerektirir.



Şekil 2.5. Sığ ve silindirik yüzer kapaklı veya sabit kapaklı çürütücü tanklar



Şekil 2.6. Derin, silindirik, alt ve üst kısmı dik eğimli ve yumurta şekilli anaerobik çürütme tankı

2.7.Konuya İlişkin Literatür Bilgileri

Biyogaz önemli bir enerji kaynağı olduğundan İtalya’da 500 KW elektrik enerjisi üreten tarımsal biyogaz tesis sayısı 520’nin üzerinde çıkmıştır. Domuz atığı ve mısır atığı ile işletilen anaerobik çürütme tesislerinin ürettiği biyogazdan üretilen elektrik enerjisi esnasında çıkan sera gazı emisyonlarının, fosil yakıtlardan elektrik eldesi sırasında oluşan sera gazı emisyonlarına göre çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada domuz atığından oluşan biyogaz %60 CH₄ ve mısır atığından oluşan biyogaz %53 CH₄ içerdiği belirlenmiştir. Çeşitli hayvansal ve tarımsal atıklar anaerobik çürütme ile çevre dostu, sürdürülebilir ve temiz enerji kaynağı sağlanmaktadır (Bacenetti ve ark., 2013).

Laboratuvar ölçekli çalışmada 6 adet yarı sürekli deney reaktörü ve 4 adet kontrol reaktörü kullanılmıştır. Reaktörler hacimsel olarak %70 ÖÇÇ ve 30 FBC’ den kurulmuş, HBS:15 gün, sıcaklık 37±1°C, yarı sürekli, deney reaktörleri, uzun zincirli yağ asitleri (UZYA) ile farklı dozajlarda işleme tabi tutulmuştur. Biyogaz üretimi üzerinde olumlu etki göstermeleri ile birlikte inhibisyon ve metanojenler üzerinde toksik etkileri de gözlemlenmiştir (Zhu, 2013). İtalya’nın kuzeyinde gerçek ölçekli bir

tesisten temin edilen numuneler üzerinde farklı sıcaklıklarda (20, 35 ve 55°C) periyodik olarak 2, 6, 13, 21, 27 ve 60. günlerde fekal koliform, *Salmonella spp.*, Helmints yumurtaları, pH, toplam azot, patojen ve biyogaz analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda, termofilik sıcaklıkta çamurun iyi sterilize edilmesine rağmen sistem hassasiyetinden dolayı metan üretiminin iyi olmadığı kanısına varılmıştır. Mezofilik sıcaklıkta metan üretimi ile birlikte toprağa uygulanabilir biyokütle eldesi sağlanabilmekte ve yüksek kalitede çamurun sterilize olması istenirse gerekli olan enerji metan gazından karşılanabilmektedir (Scaglia ve ark., 2014).

Riau ve ark. (2010) tarafından yürütülen bir çalışmada kesikli olarak çalıştırılan reaktörleri sırasıyla 2, 4 ve 6 gün'lük HBS'de termofilik sıcaklığa (55°C) ve ardından mezofilik sıcaklığa (35°C) tabi tutulmuştur. Bütün reaktörlerde elde edilen analiz sonuçlarına göre, fekal koliform ve *Salmonella spp.* yoğunluğunun (<1000 MPN/4g TKM) metan üretimi, UKM ve süzülebilirlik sonuçlarına göre 4 günlük HBS'de termofilik ön işlemin optimum olduğu düşünülmüştür. Termofilik ön işlemin ardından mezofilik anaerobik çürütme ile EPA standartlarına göre A sınıfı biyokütle elde edilmiştir.

Forster-Carneiro ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada mezofilik koşullarda (35°C) atıksu arıtma çamuru KÇ ile kurulmuş, hacimce 5 L'lik, çamur yaşı 20 ve 30 gün olan sürekli karıştırılmalı anaerobik reaktörler sırasıyla; 225 ml/gün ve 150 ml/gün beslenip işletilmiştir. Sırasıyla *Salmonella spp.* konsantrasyonu 3 MPN/4 g TKM'den küçük ve fekal koliform konsantrasyonu da $2 \cdot 10^6$ MPN/g TKM'den düşük gerçekleştiğinden standartlardaki B sınıfı biyokütle eldesi ve Fekal koliform ve *Salmonella spp.* için en yüksek giderim 20 günlük HBS'de gerçekleştirilmiştir.

Erden ve Filibeli (2009) tarafından yapılan çalışmada 4 adet reaktör kullanılmış olup bunların ikisi kontrol reaktörü olarak, biri mezofilik koşullarda ($37 \pm 2^\circ\text{C}$), diğeri ise mezofilik ($37 \pm 2^\circ\text{C}$) ardından termofilik ($55 \pm 2^\circ\text{C}$) koşullarda işletilmiştir. Fenton ön işleme tabi tutulan FBÇ çamuru iki reaktörde sırasıyla; tek kademeli termofilik koşullar altında ve iki kademeli mezofilik ardından termofilik koşullar altında işletilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, fenton ön işlem görmüş çamurla beslenen reaktörlerde, termofilik koşullarda önemli ölçüde UKM giderimi ve metan üretiminde artış gözlemlenirken susuzlaşmada negatif etki gözlemlenmiştir. Tek kademeli mezofilik şartlarda işletilen reaktörlerde ise kontrol reaktör ve fenton ön işlem görmüş çamurla beslenmiş reaktör arasında UKM yönünden önemli fark gözlemlenmemiştir.

AAT'lerde oluşan ÖÇÇ ve FBC ayrı ve karışık olarak termofilik sıcaklıkta (70°C), sırasıyla 1, 2, 4 ve 7 gün ön işleme tabi tutulmuş, ardından ÖÇÇ ve FBC termofilik (55°C) ve mezofilik (35°C) koşullarda, karışık çamur da kesikli reaktörlerde, termofilik ardından mezofilik işleme tabi tutulmuştur. Elde edilen gözlem ve analiz sonuçlarına göre termofilik optimum ön işlem süresi 4 gün olarak tespit edilmiş olup, ön işlem görmüş ÖÇÇ ile beslenen anaerobik çürütme reaktörlerinde parametrelerin giderim oranı ve CH₄'de üretim artışının önemli ölçüde termofilik sıcaklıkta gerçekleştiği, mezofilik koşulların az miktarda etki ettiği gözlemlenmiştir. FBC'de ise mezofilik koşullar, termofilik koşullara göre daha olumlu sonuçlar vermiştir. Termofilik ön işlem görmüş karışık çamurda ise ÖÇÇ ve FBC'nin karışım oranının önemli bir etken olduğu görülmüştür (Hariklia ve ark., 2003a).

Rubio-Loza ve Noyola (2010) yaptıkları çalışmada iki fazlı anaerobik çürütme sisteminde asidojenik fazda; termofilik sıcaklık 55°C, HBS 3 ve 2 gün; metanojenik fazda; mezofilik sıcaklık 35°C, HBS 13 ve 10 gün ve termofilik sıcaklık 55°C, HBS 13 ve 10 gün olarak uygulanmıştır. Meksika standartlarına göre (NOM-004-SEMARNAT-2002) sistem stabil haldeyken yapılmış olan analizlerin sonuçları ilk termofilik fazda patojenlerin ve parazitlerin yüksek çoğunluğunun giderilmiş olmasıyla birlikte, işletmenin devamında metanojen fazında mezofilik ve termofilik işlemler sonucunda oluşan biyokütlenin, sağlık riskleri oluşturmadığını ve en hassas zirai kullanımlar için uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca klasik tek fazlı mezofilik anaerobik çürütme sistemlerine termofilik faz eklenip iki fazlı sistemlere modifiye edilerek, A sınıfı stabilize çamur eldesinin mümkün olduğu belirlenmiştir.

Kim ve ark. (2002) tarafından yapılan çalışmada dört reaktör kurulmuş; günlük beslemeli, sürekli beslemeli, iki kademeli günlük beslemeli ve günlük beslemeli olarak üç reaktör sürekli karıştırma işlemi ile işletilmiştir. Mezofilik (35°C) sıcaklıkta ve termofilik (55°C) sıcaklık koşullarında reaktörler işletilmiştir. Analizler sonucunda, karışım olmayan reaktörde adaptasyon ve başlangıç sürecinde sabit pH, düşük UYA, sabit UKM giderimi ve yüksek biyogaz üretimi gerçekleşmiştir. Sürekli karıştırma iki kademeli günlük beslemeli reaktörde her iki sıcaklıkta (mezofilik ve termofilik) ve iki süreçte de (adaptasyon sürecinde ve stabil haldeyken) önemli fark gözlemlenmemiştir. Ancak termofilik sıcaklık mezofiliğe göre daha iyi sonuç vermiştir. Aynı koşullarda işletilen reaktörler, aynı OYH artışına tabi tutulmuştur. Bunun sonucunda her iki

sıcaklıkta işletilen karıştırmasız reaktörler diğer reaktörlere göre daha fazla biyogaz üretimi ve daha etkili UYA giderimi sağlamıştır.

Chen ve ark. (2012) tarafından yapılmış çalışmada arıtma çamuru ile beslenen mezofilik 37°C sıcaklıkta, sürekli karıştırılmalı, tek kademeli reaktörlerin izlenmesi sonucunda HBS sürelerini 11, 16 ve 25 gün'e çıkartmak suretiyle patojen giderimi E. koli ve *Salmonella spp.* için sırasıyla; 1,93, 2,98 ve 3,01 log₁₀ ve 1,93, 2,76 ve 3,72 log₁₀ (ölçüm metodu MNP) ölçülmüş olup, önemli ölçüde patojen giderimi sağlanmıştır.

Anaerobik çürütme işlemi sırasında her zaman yüksek enerji eldesi, iyi kalitede çıkış çamuru (stabilize çamur), reaktörden çıkan çamurun istenilen standart sınıfına uyması, az hacim işgal etmesi, kısa bekleme süresi ve optimum enerji gideri gibi koşullar beklenir. Maksimum enerji ve kalite elde etme amacına göre düşük hacim ve iyi enerji elde etmek için, sistemin yavaş ve hız kısıtlayıcı aşamaları tespit edilerek, besinlere anaerobik çürütmeden önce bir ön işleme tabi tutma gereksinimi duyulmuştur.

Guangyin ve ark. (2017)'nin çalışmasında hız kısıtlayıcı safhanın, hidroliz safhası olması vurgulanmakla birlikte, besinlerin kompleks lif yumaklarının olması, sert hücre duvarlarının bulunması bunun sebebi olarak görülmüştür. Bu özelliklerin sonucunda HBS yükselir, organik katı madde parçalanması düşer. Bu iki (düşük organik madde parçalanması ve yüksek HBS) durum düşük biyometan üretimi ve zayıf kalitede çamur çıkışına sebep olur. Zhen ve ark. (2014) yürüttüğü bir çalışmada ikincil çamurun ön arıtımında elektroliz ve alkali ön işlem kombinasyonundan yararlanılmıştır. Elektroliz ile hidroliz işlemine gerçekleştirmeye çalışmıştır. Elektrotların boyutu 7cm x 10 cm, birbirlerine aralıkları 4 cm, voltajları 5, 10, 15 ve 20 V olup bütün çalışma boyunca bir DC devresine bağlanmıştır. En iyi ön işlem çözünürlüğü voltaj 5 ve pH 9.2 de gerçekleşmiştir. Thiebaud ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada yüksek basınç (200-300 MP) altında homojenleştirme yöntemi ile homojenlik ve çözünürlüğün artması kısa zamanda sağlanmıştır.

Organik bileşenler (lipitler, proteinler, karbonhidratlar) ve arıtma çamurlarının birlikte anaerobik olarak çürütülmesi konusunda Alqarallelh ve ark. (2016) çalışmalarında, yağ-gresi arıtma çamurlarıyla birlikte termofilik 55±1°C sıcaklıkta ve iki kademeli (70±1 ve 55±1°C) sıcaklıklarında anaerobik çürütme reaktörleri kurulmuştur. YG besin maddeleri; %20, 40, 60 ve 80 TUKM bazında artırılarak çürütme işlemine

devam edilmiştir. Hiper termofilik koşulunda işletilen reaktör, kontrol reaktörüne göre %112 civarında daha yüksek metan gazı üretmiştir.

Salama ve ark. (2019) yapmış olduğu çalışmada, lipit ve kompleks organik maddelerin, arıtma çamurlarıyla birlikte arıtılmasının enerji üretimi açısından oldukça avantajlı olduğunu gözlemlemiştir. Kompleks organik besinler yüksek miktarda karbon ve hidrojen içeriğine sahiptir. Kuang (2002) tarafından yürütülen bir doktora çalışmasında tek kademeli ve çift kademeli karışimsız yukarı akışlı reaktörlerde, mezofilik sıcaklıkta lipitlerin parçalanması sonucunda oluşan UZYA'lar, biyolojik olarak genellikle 14-24 Karbon atom sayılarından oluşur. Sistemi inhibe eder ve özellikle metan üreten bakteriler üzerinde etkisi baskındır. Lipit, protein ve karbonhidratlarla birlikte sistemin beslenmesi, sadece protein veya karbonhidrat ilavesine nazaran sistemdeki mikroorganizmaların büyümesini daha fazla tetikler. Aynı zamanda lipitlerin hidrolizinde de optimal etki gösterir. Tek ve iki kademeli reaktörlerin karşılaştırılmasında ise iki kademeli olan reaktörlerin daha iyi performans ortaya koyduğu görülmüştür.

Grosser ve Neczaj (2018) tarafından yürütülen çalışmada; gerçek ölçekli bir atıksu arıtma tesisinden ÖÇÇ ve FBC çamurlarından belirli oranlarda karışık çamur ve bir et proses tesisinden, yağ ayrıştırıcı ünitesinden atık yağlar temin edilmiştir. Çalışmada birlikte çürütme işleminde 6.5 L hacimli, mezofilik 37°C sıcaklıkta, yarı sürekli günlük beslemeli, sürekli karışimli (180 rpm), 10 gün'lük HBS ile katkı madde (atık yağlar) UKM bazında %0 – 54'e kadar yükseltilmiştir. Gaz toplama ve ölçme ünitesi cam reaktörün dışında yer almıştır. Birlikte çürütme, biyogaz ve UKM giderimi yönünden, yalnız AAT'den kaynaklanan çamurların, ayrı arıtılmasından çok daha avantajlı olduğu görülmüştür. Aynı zamanda UKM bazında %10'dan yüksek değerlerde katkı maddesi (et işleme tesisinden kaynaklanan atık yağlar) eklendiği durumlarda, reaktörlerin içindeki ısı muhafazasına da olumlu katkısı olmuştur. Birlikte arıtmadan kaynaklanan UYA, normale göre 10-20 kat daha fazladır. Oluşan UZYA'larda üst limitlere ulaşılmış ancak bu işletim sorunları sistem inhibe olmadan kontrol edilebilir sorunlar olarak belirtilmiştir.

Grosser ve ark. (2017) tarafından yapılan başka bir çalışmada yarı sürekli işletim metodu ile mezofilik sıcaklıkta, 20 günlük HBS, 6 L hacimli, sürekli karıştırmalı (180 rpm) anaerobik çürütme reaktörü kullanılmıştır. AAT çamuru, atık yağ ve organik atıklar gibi biyobesin maddeleri birlikte çürütme işlemine tabi tutulmuştur. Yürütülen

çalışma üç farklı aşamaya ayrılarak izlenmiştir. Aşama 1’de, reaktörler kesikli ve yarı sürekli sisteme geçecek şekilde kurulup işletilmiştir. Aşama 2’de, sisteme UKM bazında %5-30 aralarında katkı besin (kesimhaneden toplanan atık yağlar) ilave edilmiştir. Aşama 3’te ise aşama 2’deki besleme miktarları yanında UKM bazında %10-30 civarında organik atıklar eklenmiştir. Yapılan izleme ve analizler sonucunda, arıtma çamurunun yalnız çürütülmesinden, birlikte çürütme işleminin daha iyi UKM giderimi ve yüksek biyogaz üretimi sağladığı görülmüştür. 2. aşamada atık yağ konsantrasyonu %30 UKM iken 1. aşamaya göre yaklaşık %52 daha fazla metan gazı üretilmiştir. Aşama 3’te ise kontrol aşamasına göre %29 daha yüksek UKM giderimi ve biyogazdaki metan ortalamasının da yaklaşık %82’ye çıktığı görülmüştür. Bunların yanı sıra UZYA konsantrasyonu literatürlerde belirlenen inhibisyon sınırının altında kalmıştır. Ancak Oleik asit konsantrasyonu literatürlerdeki limit değerlerin üstüne çıkmıştır; ancak herhangi bir inhibisyon etkisi gözlemlenmemiştir.

Cirne ve ark. (2007) tarafından yürütülen çalışmada standart sıcaklık ve basınçta kesikli reaktörlerle çalışma yapılmıştır. Lipit içeriği yüksek besinler, reaktörlere KOİ bazında (%5-47 w/w) eklenerek devam edilmiştir. Hidroliz reaksiyonu ve metan üreten arkeleler üzerinde etkisi incelenmiştir. %5-10 ve 18 (w/w) inhibisyon etkisi gözlemlenmezken %31, 40 ve 47’de ciddi inhibisyon etkileri gözlemlenmiştir. Lipaz enzimi lipitlerin hidrolizi için önemli rol oynarken, hidroliz sonucunda oluşan UZYA’lar da metan üretimine büyük engel oluşturmaktadır. UZYA’ların birikimi sistemin inhibisyonuna sebebiyet verebilir. Ancak bu olay ani olarak gerçekleşmez ve sistemin izlenmesi sırasında, inhibisyon etkileri baş gösterdiğinde, sistemin OYH’sine veya sisteme dışardan kimyasal eklenmesi ile müdahalede bulunulabilir. Bu müdahalelerin gerçek ölçekli ve sürekli sistemlerde uygulanabilmesi oldukça zordur.

Silva ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada UZYA’ların metan üreten arke türleri (*Methanosaeta concilii* ve *Methanosarcina mazei*) üzerindeki etkisini incelemiştir. Oleat 0.5 mmol/L iken metan üretimi >%50 olarak gözlenmişken, oleat konsantrasyonu 2 mmol/L’ye çıkartıldığında sistem tamamen inhibe olmuş, herhangi bir metan üretimi gerçekleşmemiştir. Palmitat konsantrasyonunun ise daha tolere edilebilir olduğu görülmüştür (2 mmol/L’de %11- 64 civarında inhibisyon gözlemlenmiştir). Gelecekte yüksek UZYA içerikli anaerobik çürütme sistemlerinde, *Methanosaeta* arke türlerinin, indikatör mahiyetinde, inhibisyon olayının önceden tespitine yardımcı olabileceği düşünülmüştür. Capson-Tojo ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada lipit ve mikroalglerin

birlikte çürütülmesini incelemiştir. Anaerobik çürütme işleminde hidroliz aşamasının her zaman, zaman alıcı ve yavaş bir safha olduğu bilindik bir problemdir. Bunun üzerinde 120 gün süren çalışmada, mezofilik 35°C ve termofilik 55°C sıcaklıkta kesikli reaktörler kurulmuştur. KOİ analizleri sonucunda termofilik sıcaklıkta hidroliz işlemi daha hızlı gerçekleşmiş olmasına rağmen, mezofilik sıcaklığa göre daha az metan üretimi gözlemlenmiştir. Bu durum, termofilik bakterilerin daha uzun adaptasyon sürecine ihtiyaç duyduğuna bağlanmıştır.

Ryan ve ark. (2016) çalışmasında anaerobik olarak çürütülmüş evsel AAÇ'unun YG içeriği %1.8-8 cevarında tespit edilmiştir. Çamurda YG'in artışı çamurun su verme özelliğine olumsuz etki ettiği gözlemlenmiştir. Çamur şartlandırıcı olarak %3'lük kül ilavesi çamurun süssüzlaşma özelliğini artırarak bertaraf edilmesi gereken çamurun hacmini azaltmıştır. Bu yöntemle çamur şartlandırması yapılırken çamurun ağır metal içeriğine bağlı olmakla birlikte %3 seviyelerinde kül (çamur şartlandırıcı) ilave edilebilir olduğu tespit edilmiştir. YGL maddelerin anaerobik çürütücülerde çürütülebilirliği, enerji üretiminde artışa sebep olduğu ve AAÇ'lerle birlikte çürütülebilirliği pek çok literatürde yer almaktadır.

Tandukar ve Pavlostathis (2015) tarafından yürütülen çalışmada ÖÇÇ, yoğunlaşmış FBC ve çürütülmüş çamur ile eklenen YGL 35°C' te çürütülebilirliği incelenmiştir. En iyi metan dönüşüm oranı ÖÇÇ, FBC ÖÇÇ+FBC (40:60 w/w) ve YGL için sırasıyla %49.2, 35.2, 40.3 ve 81.1 şeklinde gerçekleşmiştir metan üretimin önemli ölçüde artması ile birlikte çıkış çamur kalitesi de kontrol reaktöre benzer gerçekleşmiştir.

Appels ve ark. (2008) çalışmasında; AAÇ'nin anaerobik şekilde mezofilik sıcaklıkta çürütülmesi en yaygın çürütme şekli olarak belirtilmiştir. Mezofilik sistemle çamurun patojen, TKM ve organik madde giderimini sağlanabilmektedir. Termofilik koşullarında aktivite gösteren bakteriler mezofilik bakterilere göre 2-3 kat daha hızlı büyümektedir. Bu durumda sistemin OYH'yi daha yüksek değerlerde tutarak yüksek enerji eldesi mümkün olduğu düşünülebilir ancak termofilik sistem oldukça kararsız olmasından dolayı beklenen değerlerde işletilmesi mümkün olmayacaktır. Termofilik sistem yüksek derecede inhibitörlere karşı hassastır. Termofilik sistemin sıcaklığını sağlamak için yüksek enerji gereksinimi vardır. Çıkış çamurun süssüzlaşma kabiliyetin

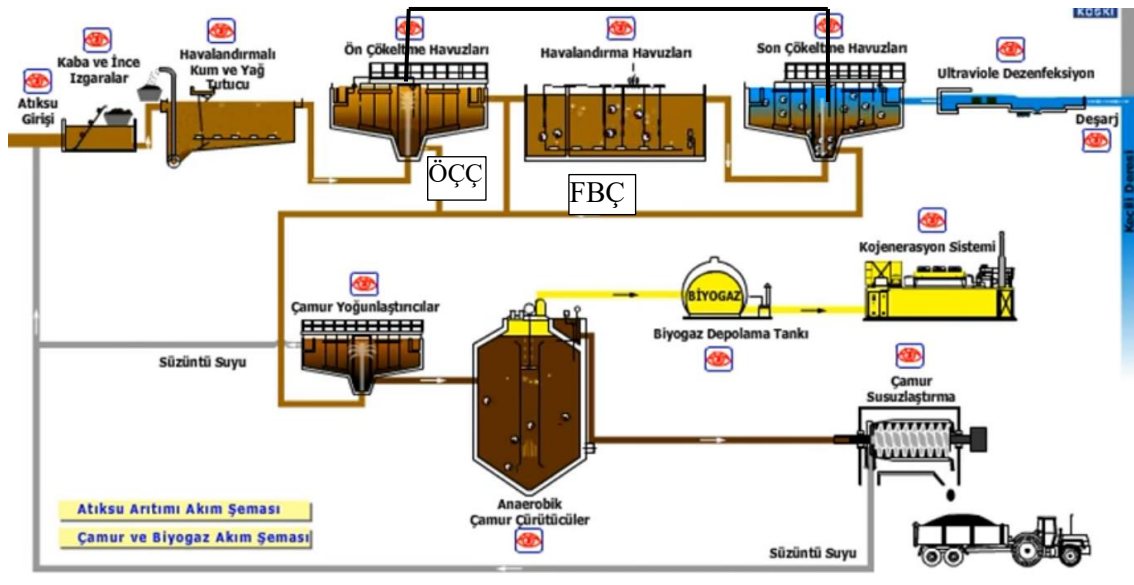
düşük olması ve çıkış suyunda yüksek UYA değerlerinin bulunması termofilik sistemin yaygın olarak kullanılmamasının nedenleri arasında sayılabilir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Atıksu artıma tesisi

Bu çalışma kapsamında çamur numuneleri Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne (KOSKİ) bağlı olan ve 1.2 milyon nüfusa hizmet eden Konya AAT'den temin edilmiştir. Konya AAT akım şeması ve primer (ÖÇÇ) ve sekonder (FBC) çamur numuneleri alma noktaları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. KOSKİ - AAT akım şeması

3.2. Ham numunelerin özellikleri

Numuneler iki haftada bir temin edilmiştir. ÖÇÇ numunesi ön çöktürme havuzu çamur çıkışından, FBC numunesi ise biyolojik geri devir hattından ve reaktörlerin kurulumu için gerekli olan aşı bakteri kütleleri de çürütücü çıkışından alınmıştır. KÇ % 60 ve 40 oranlarında ÖÇÇ ve FBC'nin karıştırılması ile hazırlanmıştır. Laboratuvara getirilen ÖÇÇ ve FBC numunelerinin pH değerleri ölçülmüş, ikişer örnek alınarak TKM ve UKM değerleri belirlenmiştir. Numuneler haftalık alındığı için buzdolabında, +4°C'de numune saklama şartlarına uygun şekilde saklanmıştır. Numunelerin saklama koşullarına uygun olarak saklanmasıyla birlikte haftada iki ve üç kez TKM ve UKM

değerleri belirlenmiştir. Bütün bu çalışma periyodunda ölçülen ham numunelerin aralık karakteristik değerleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ham çamur numunelerin karakterizasyonu

Parametreler	pH	TKM (mg/L)	UKM (mg/L)	Susuzlaşma (s)
ÖÇÇ	6.3-7.0	30000-50000	20000-35000	300-600
FBC	7.2-8.0	7000 - 11000	5000 - 7000	100-150
Aşı		17720-19000	10900-12000	

3.3. Reaktörlerin işletim ve izlenmesi

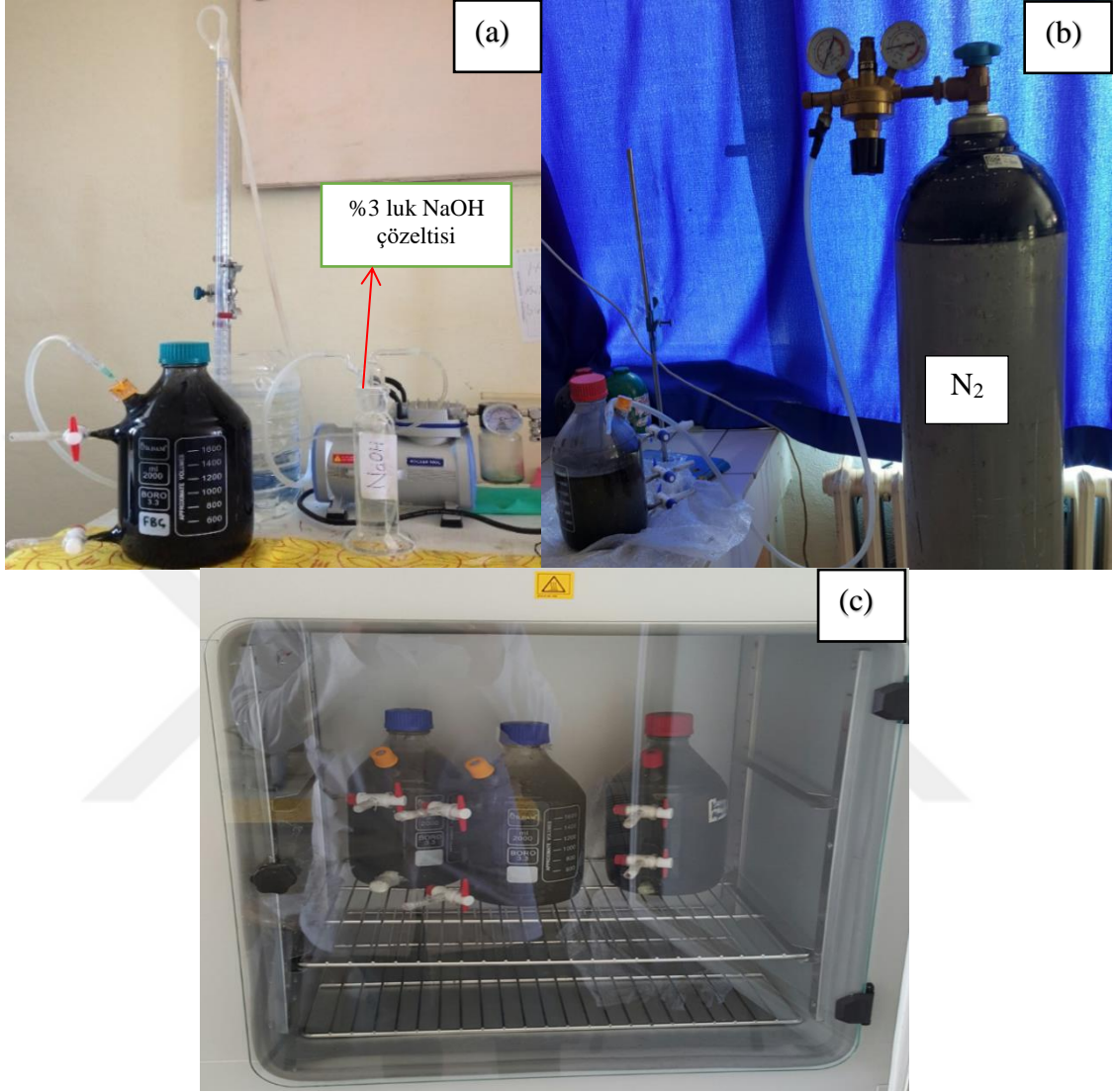
Bu çalışma kapsamında ÖÇÇ, FBC ve KÇ numuneleri, laboratuvar ölçekli yarı-sürekli anaerobik reaktörlere beslenerek, 40°C üst mezofilik sıcaklıkta Çizelge 3.2.'de belirtilen adaptasyon dönemi haricinde 5 farklı OYH uygulanmıştır. Çalışmanın toplam adaptasyon dönemi üç ile beş hafta sürmüştür. Adaptasyonun ilk üç haftası 38°C sıcaklıkta devam etmiş ve 4-5. haftaları da 40°C sıcaklıkta işletilerek tamamlanmıştır.

Çalışma 2 L'lik toplam hacme sahip gaz çıkışı ve numune çıkışları bulunan özel yapım cam reaktörlerde, 40°C sıcaklık seviyesinde, 1500 mL'lik aşı anaerobik çamur ile kurulduktan sonra HBS'yi sağlayacak şekilde günlük tek çamur çekim ve beslemelerle ÖÇÇ, FBC ve KÇ için sırasıyla Çizelge 3.2.'de gösterildiği gibi işletim parametreleri uygulanmıştır. Gaz ölçümü yapıldıktan sonra ham çamur numuneleri ile beslenmiş ve sonrasında anaerobik ortamın sağlanması için N₂ gazı ile gazlama yapılmıştır.

Metan gazı günde iki kez sıvı yer değiştirme metodu ile ölçülmüştür. Reaktörler besleme ve gaz ölçümlerinden sonra N₂ ile gazlanarak elde çalkalanıp Şekil 3.2 a-c'de gösterildiği gibi etüvde inkübasyona alınmıştır. Her OYH seviyesinde reaktörlerin kararlı performansa ulaşma sürelerine bağlı olarak 4-6 haftalık işletim süresi uygulanmıştır. Çıkış numunelerinde pH, toplam çözünmüş sülfür (TÇS) ve UYA analizleri günlük olarak yapılmıştır. TKM/UKM analizleri haftalık ölçekte, haftada 3 kez yapılmıştır.

Olası toksik etkinin kontrolü kapsamında, TÇS giderimi ve metan bakterilerine serbest demir sağlamak amacıyla artan OYH ile metan üretim performansında düşüş gerçekleşmesi durumunda her yüklemenin son bir haftalık sürecinde, FeCl₃ (50 ve 75

mg/L) ilavesi ile olası performans artışı belirlenmeye çalışılmıştır (Çizelge 3.2.). Çalışma toplamda 172 gün (adaptasyon + 5 OYH) sürmüştür.



Şekil 3. 2. Metan ölçme düzeneği (a) N₂ ile reaktör yıkama (b) 40 °C'de ayarlanmış etüv (c)

Çizelge 3.2. Yarı sürekli anaerobik çürütme reaktörlerinin işletim parametreleri

Çamur tipi	HBS (gün)	OYH (kg UKM/m ³ .g)	İşletme Süresi (gün)	FeCl ₃ (mg/L)
ÖÇÇ	--	0.78	41	--
	22	1.5	29	50
	20	1.65	20	50
	16	2.06	22	50
	12	2.75	47	75
	8	3	18	75
KÇ	--	0.57	41	--
	22	0,82	29	50
	20	0.90	20	50
	16	1.1	22	50
	12	1.5	47	75
	8	2.28	18	75
FBC	--	0.3	41	--
	20	0.4	29	50
	16	0.44	20	50
	12	0.6	22	50
	8	0.7	23	75
	6	0.8	25	75
	4	1.3	17	--

3.4. Analiz ve yöntemler

Anaerobik çürütme metodu ile çamurun stabilizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Stabilize edilmiş (çürütücü çıkışındaki) çamur üzerinde yapılan analizler, TÇS, TKM, UKM, yağ-gres, pH, UYA, alkalinite ve çamur filtreleme süresi standart metotlara göre yapılmıştır (APHA, 2005). Stabilize çamurun susuzlaşma özelliği filtreleme süresi ile belirlenmiştir. Nutrient içeriği, TN ve TP değerleri hazır kitleler kullanılarak spektrofotometrik yöntem ile ölçülmüştür. Metan gazı ölçümü ise günlük olarak %3'lük NaOH çözeltisinden geçirilerek sıvı yer değiştirme metodu (2720 A-B) ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.3'de ölçülen parametreler, metotlar ve ölçüm periyotları özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. Stabilize çamurun izlenen parametreleri, izleme aralığı ve metotları

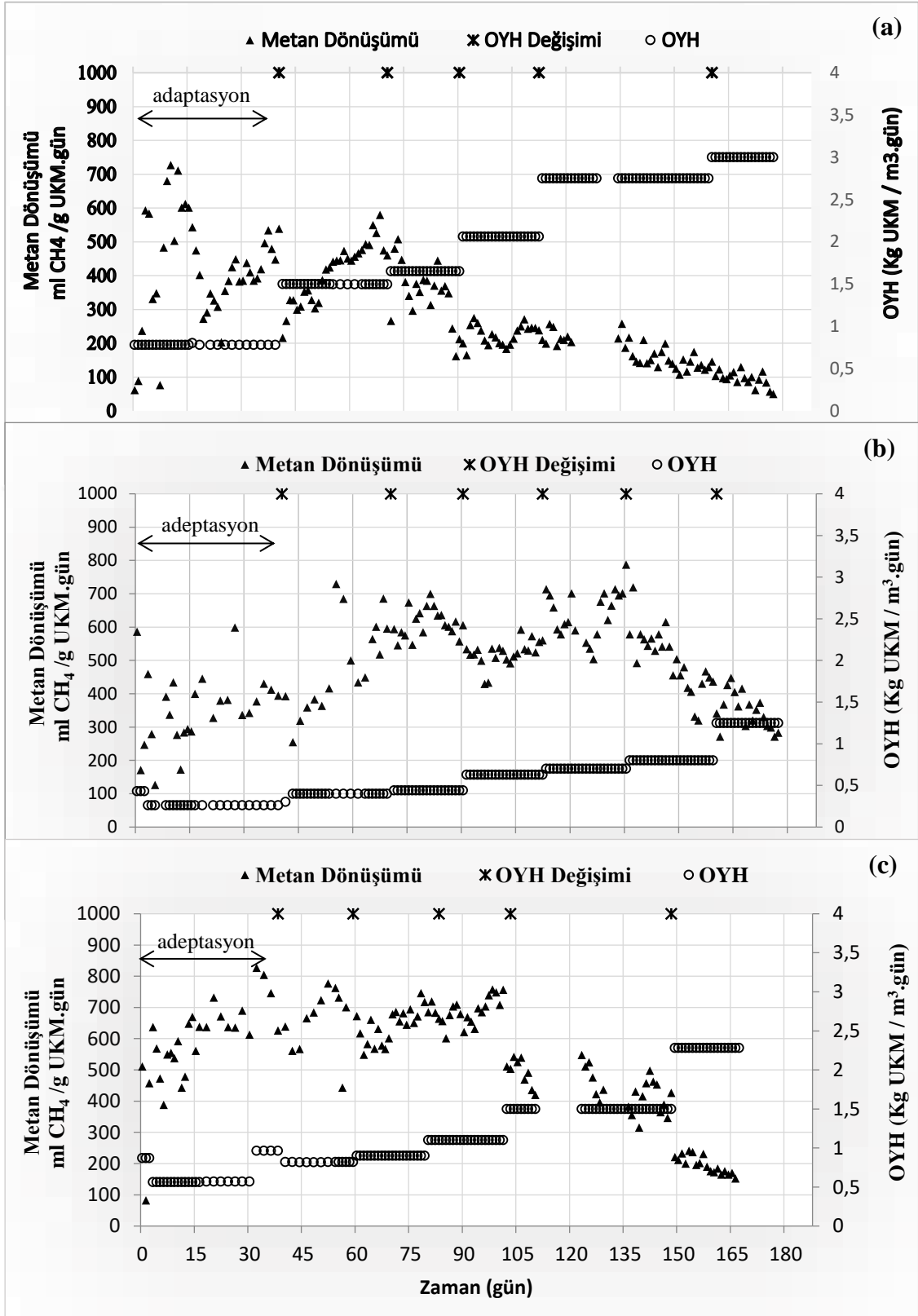
Parametre	Birim	Analiz Periyodu (gün)	Analiz Metodu (APHA, 2005)
Metan (CH ₄)	mL/gün	günlük	Standart Metod, 2720 A-B
TKM	mg/l	3 kez /Hafta	Standart Metod, 2540 B
UKM	mg/l	3 kez /Hafta	Standart Metod, 2540 E
UYA	mg CaCO ₃ /l	3 kez /Hafta	Kapp Metodu, Üç Noktalı Titrasyon
pH		4 kez /Hafta	Standart Metod, 4500- H
TÇS	mg/l	3 kez /hafta	Standart Metod, 4500-C-F
Filtreleme süresi	Saniye (s)	3 kez/OYH	Standart Metod, 2710-H
İletkenlik	mS/cm	4 kez /Hafta	Standart Metod, 2510 B
Yağ-Gres	%TKM	2 kez / Hafta	Standart Metod, 5520-E
TN	mg TN/L	3 kez /5 OYH	TN kiti- Spektrofotometrik Yöntem
TP	mg TPO ₄ ²⁻ /L	3 kez /5 OYH	TP kiti- Spektrofotometrik Yöntem

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışma üst mezofilik 40°C sıcaklıkta, yarı sürekli çürütücülerde ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ fraksiyonları ile yürütülmüş ve ayrık ve karışık sistemde anaerobik çürütme performansı metan dönüşümü, günlük metan üretimi, UKM giderimi ve TÇS oluşumu parametreleri ile stabilize çamur kalitesi UKM, YG, nütrient içeriği ve susuzlaşma kabiliyeti ile ölçülerek optimum işletim parametrelerin belirlenmesine çalışılmıştır.

4.1. Metan Dönüşümü

Çalışmada paralel olarak ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ reaktörleri adaptasyon süreci hariç sırasıyla beş, altı ve beş OYH ile işletilmiştir. Her üç reaktörde adaptasyon sürecinde belirli salınımlar gözlemlenmiştir. Şekil 4.1. a-c'de gösterildiği üzere sırasıyla ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ çürütücülerin maksimum metan dönüşümü; 500±80 mL CH₄/g UKM_{ekl}.gün, 700±30 mL CH₄/g UKM_{ekl}.gün ve 700±50 mL CH₄/g UKM_{ekl}.gün olarak gerçekleşmiştir FBÇ için adaptasyon süreci KÇ ve ÖÇÇ ye kıyasla daha az salınım göstermiştir. FBÇ çürütücü sistemi adaptasyon sürecinin ilk üç haftasında stabil hale gelmiştir. Ancak çalışmanın paralellik arz etmesi gerektiğinden adaptasyon süreci her 3 reaktörde paralel devam etmiştir. Metan dönüşümü belirli bir yükleme hızından sonra bozulmaya başlamıştır. Çürütücülerin performans düşüşünün başladığı OYH değerleri sırasıyla ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için 1.65, 0.8 ve 1.5 kg UKM/m³.gün şeklindedir. Metan dönüşümü için sırasıyla optimum OYH değerleri; 1.5, 0.7 ve 1.1 kg UKM/m³.gün olarak belirlenmiştir. Bu OYH'ler için gerçekleşen optimum HBS süreleri sırasıyla; 22, 8 ve 16 gün olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1. ÖÇÇ (a) FBC (b) ve KÇ (c) reaktörü için zamana göre günlük metan dönüşümü ve uygulanan OYH değerleri

4.2. Günlük Metan ve Toplam Çözünmüş Sülfür (TÇS) Oluşumu

Reaktörlerde maksimum günlük metan oluşumu ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için sırasıyla 1200±200, 580±110 ve 1150±225 mL/gün şeklinde gerçekleştirilmiştir Şekil 4.2. a-c. Maksimum günlük metan üretimine sırasıyla 1,5, 0,6 ve 1,1 kg UKM/m³.gün değerlerinde ulaşılmıştır.

Her OYH'nin son aşamasında demir klorür ilavesi yapılmıştır. TÇS üzerinde FeCl₃ etkisi farklı OYH'lerde olumlu veya olumsuz yönde düşük etkiye sebep olmuştur; metan üretiminde oluşan salınımları azaltmıştır.

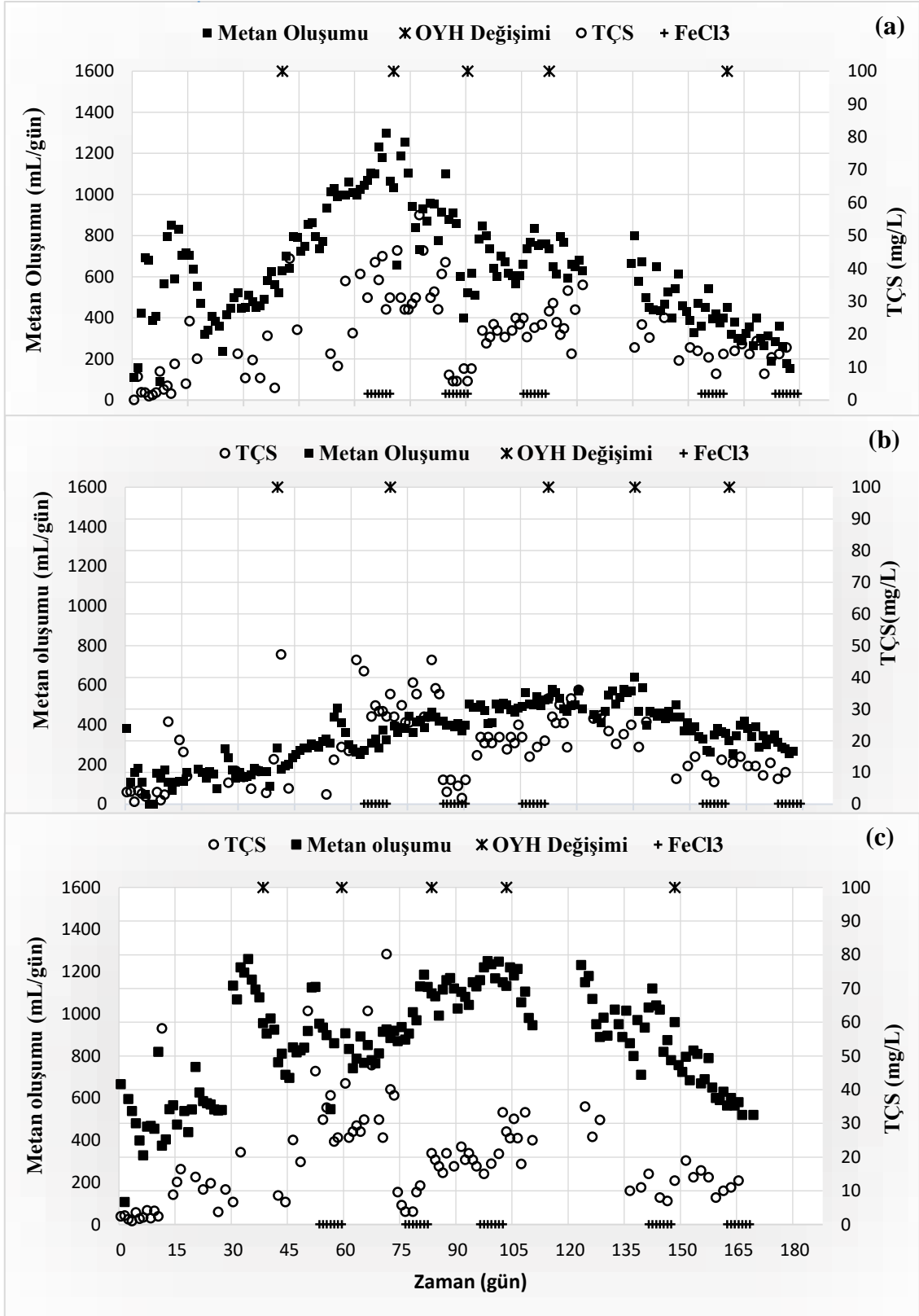
Demir klorürün TÇS üzerinde etkisini reaktör bazında değerlendirdiğimizde ÖÇÇ için belirgin ve tekrarlanan bir etki elde edilememiş ve TÇS konsantrasyonu ilk üç OYH'de 40-60 mg/L değerlerinde ölçülmüştür. Son iki OYH'de ise TÇS bütün reaktörlerde 20 mg/L'nin altında kalmıştır. Bunun sebebi olarak hidroliz reaksiyonunun da inhibe olması düşünülmüştür.

FBÇ ve KÇ çürütücülerinde de benzer trend gözlenirken TÇS konsantrasyonu ilk OYH'lerde sırasıyla 30-45 ve 45-55 mg/L aralığında gerçekleşmiştir. Demir klorür ilavesinin metan üretimi üzerinde her üç reaktörde olumlu etkisi olmuştur. Bu çalışmaya göre anaerobik çürütücü reaktörlerinde TÇS konsantrasyonu toksik sınır değerlerde (TÇS>100-200 mg/L) olmadığı durumlarda demir klorürün eklenmesinin düşük TÇS konsantrasyonlarında etkili olmadığı ancak ÖÇÇ ve KÇ anaerobik çürütücü reaktörlerinde salınımların azaltılmasına ve gaz üretimine sınırlı katkısı gözlenmiştir. FBÇ reaktöründe metan üretimine herhangi bir etkisi olmamıştır.

4.3. UKM Konsantrasyonu ve Giderimi

Anaerobik çürütücü mantığına göre işletim parametrelerinin en önemlisi sıcaklıktır. Hidroliz safhasında görev üstlenen bakterilerin çalışma hızı ve türleri sıcaklığa (saprofilik, mezofilik ve termofilik) göre değişmektedir.

Sisteme uygulanacak UKM yükleme değerlerinin, hidroliz hızını geçmeyecek değerlerde olması gerekmektedir. UKM yüklemesi sistemin hidroliz hızından yüksek olursa sistemde UKM birikimine sebep olur. Sistemde UKM birikimi arttıkça çıkış çamurunun kalitesi düşebilir. Bu nedenle bu çalışmada artan OYH ile UKM giderim ve konsantrasyonu izlenmiştir.



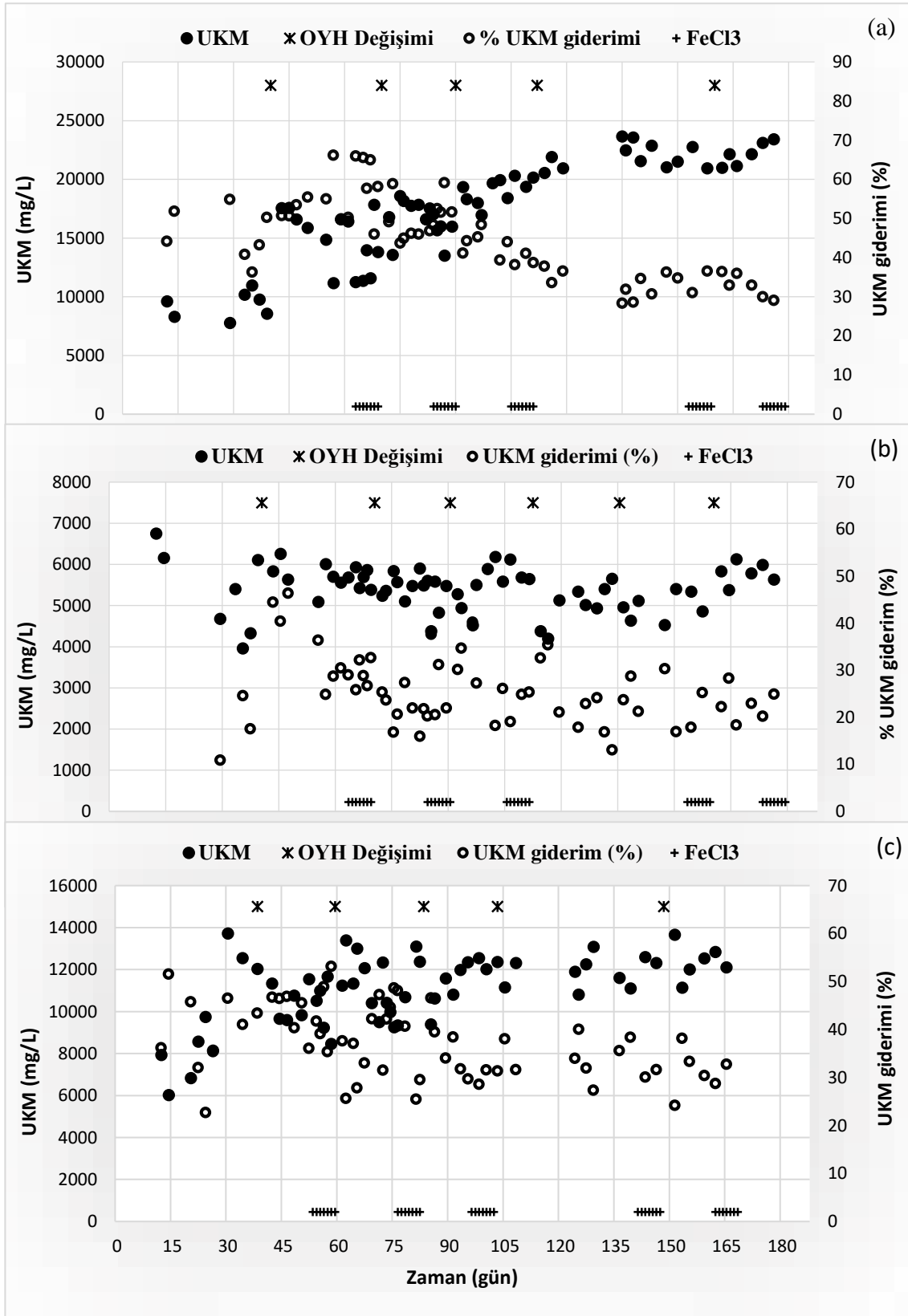
Şekil 4.2. ÖÇÇ (a), FBÇ (b) ve KÇ (c) reaktörlerinin günlük metan ve TÇS oluşumunun zamanla değişimi ve FeCl₃ ilavesi

ÖÇÇ reaktörünün UKM gideriminin normal olarak FBÇ ve KÇ'den daha yüksek olması beklenir çünkü FBÇ ve KÇ'ye göre kolay parçalanabilir organik madde içeriği fazladır. ÖÇÇ için maksimum UKM giderimi 1.5 kg UKM/m³.gün OYH'de %65 olarak gerçekleşirken sonraki yükleme değerlerinde düşme trendi göstermiş ve reaktörde UKM birikimi gerçekleşmiştir. Bu durum hidroliz hızının aşıldığı ve/veya toksik etkinin gerçekleştiği şeklinde değerlendirilebilir (Şekil 4.3.a.). FBÇ reaktöründe UKM giderimi %17–35 aralığında kararlı bir şekilde gerçekleşmiştir (Şekil 4.3.b). Artan yükleme değerlerine rağmen sabit giderim trendi FBÇ içeriğinin giderim seviyesinin sabit ve bu sebeple de reaktör biyokütlesini arttırıcı derecede besleme gücüne sahip olmadığını göstermiştir. FBÇ içeriğindeki yüksek bakteri içeriği özellikle yüksek çamur yaşının kullanıldığı nütrient gideren aktif çamur proseslerinde oluştuğu durumlarda yaşlı ve bozunmaya dirençli organizmalardan oluşmaktadır. Sonuçlar yüksek OYH uygulamasının mümkün olduğunu göstermektedir. KÇ çürütücü reaktörünün maksimum UKM giderim aralığı %47-48 olarak 0.82 kg UKM/m³.gün OYH'de gerçekleşmiştir (Şekil 4.3.c.). Çalışmanın geri kalan artan OYH değerlerinde giderim %27-38 aralığında gerçekleşmiştir. FeCl₃ ilavesi her üç reaktörde de UKM giderimi açısından etkisiz kalmıştır.

Mevcut çalışmanın UKM giderim sonuçlarını literatürle kıyasladığımızda; Atila (2002) tarafından yapılan çalışmada FBÇ'nin anaerobik olarak çürütülmesi sonucunda %44 UKM giderimi sağlandığı ifade edilmiştir. 38°C'de paralel yürütülen çalışmada ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ çürütmesinde sırasıyla %60,7, 40 ve 50'lik maksimum UKM giderimi sağlanmıştır (Malekzade, 2019). Bayhan (2018) 35°C' de paralel çalışmasında ise maksimum UKM giderimi sırasıyla ÖÇÇ ve FBÇ için %50-60 ve %30-40 olarak elde edilmiştir. Farklı sıcaklık etkilerinin kıyaslanmasında 40°C üst mezofilik sıcaklığın etkisi UKM giderimi üzerinde gözlemlenmiştir.

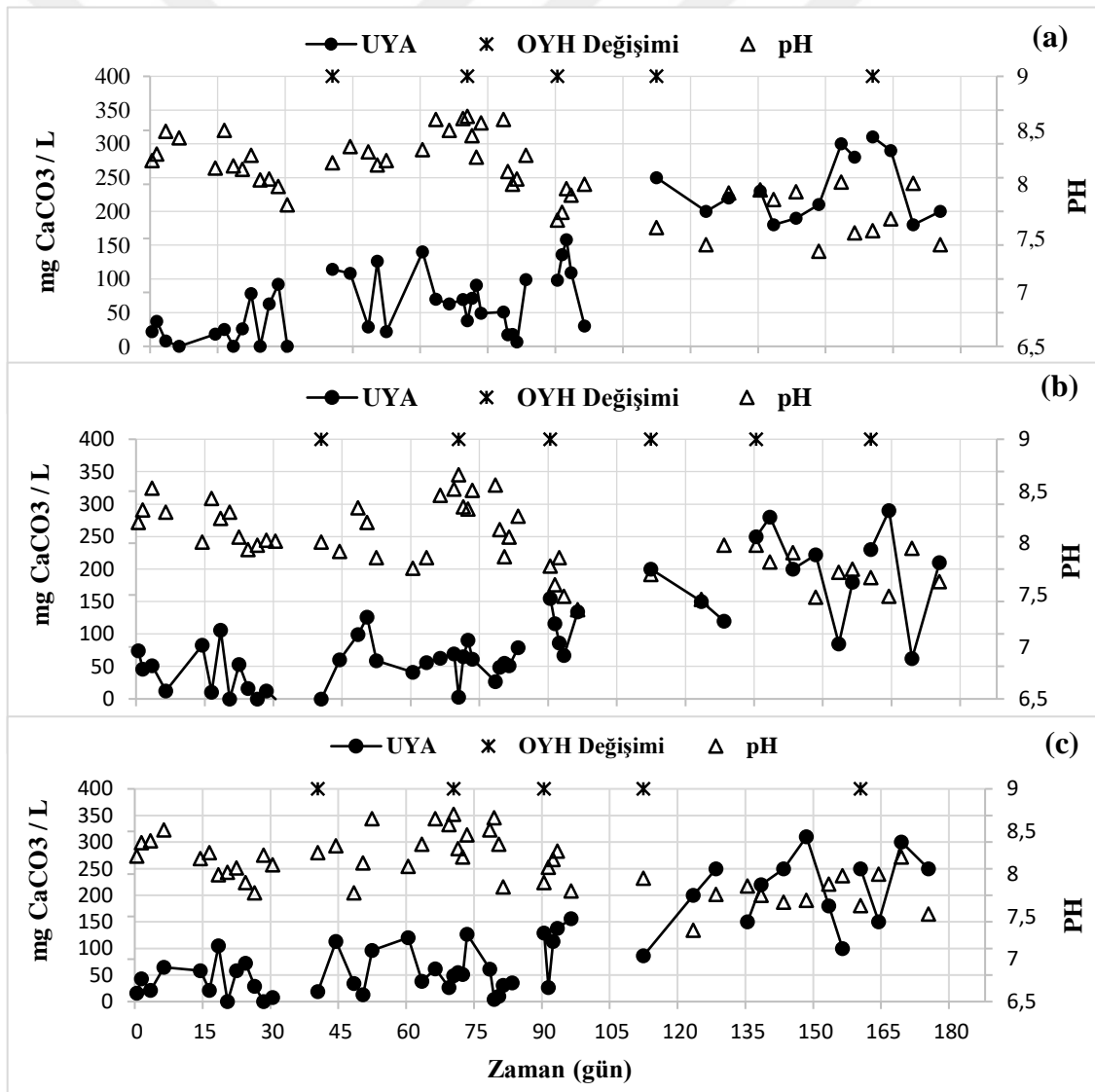
4.4. pH ve UYA değişimi

Reaktörlerin pH değerleri çalışma bütününde ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için sırasıyla 7.38-8.61, 7.48-8.66 ve 7.34-8.70 aralıklarda gerçekleşmiştir (Şekil 4.4.a-c). İlk iki OYH seviyesinde pH aralıkları 8-8.6, 7.8-8.8 ve 7.8-8.7 gibi yüksek seviyelerde



Şekil 4.3. ÖÇÇ (a), FBC (b) ve KÇ (c) reaktörlerinin %UKM giderimi ve stabilize çamurda UKM konsantrasyonunun artan OYH ile değişimi

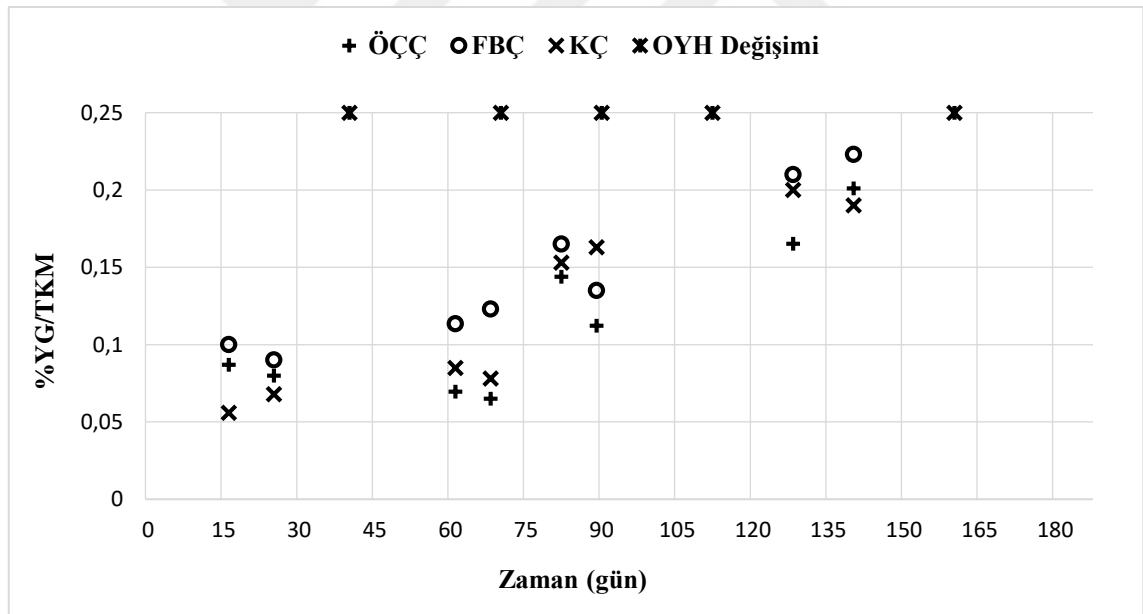
gerçekleşirken sonraki artan OYH değerlerinde pH seviyesi 7.4-8.0, 7.5-7.9 ve 7.3-7.9 seviyelerine düşmüştür. Benzer şekilde ilk üç OYH değerinde UYA konsantrasyonu sırasıyla 0-156, 0-126 ve 0-129 mg CaCO₃/L gibi düşük seviyelerde gerçekleşirken daha sonraki artan OYH'lerde ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ çürütücüleri için sırasıyla 180-310, 62-290 ve 150-310 mg CaCO₃/L seviyelerine yükselmiştir. Bu seviyelerin toksik değerlendirilmemesi ile bu oluşum, 3. OYH'den itibaren sistemde hidroliz ve asitlenmenin arttığını ve genel bir toksik etki oluştuğunu göstermektedir. HCO₃⁻ değerleri ise ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ çürütücüleri için sırasıyla 1000-3300, 1200-2600 ve 1300-3000 mg CaCO₃/L değerlerinde gerçekleşmiştir. Aralığın düşük seviyeleri asitlenmenin artışı ile tampon kapasitesinde düşüşü göstermiştir.



Şekil 4.4. ÖÇÇ (a), FBÇ (b) ve KÇ (c) reaktörlerinde oluşan UYA ve pH profili

4.5. Yağ-Gres İçeriği

Bu çalışmada reaktörlerin çıkışından alınan numuneler (stabilize edilmiş çamur) üzerinde yapılan deneylerin sonuçları %YG/TKM bazında sırasıyla ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için; %0.065-0.201, 0.090-0.223 ve 0.056-0.2 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.5). Stabilize çamurun yağ-gres içeriği %UKM cinsinden de sırasıyla 0.025-0.103, 0.039-0.073 ve 0.08 olarak gerçekleşmiştir. Bu değerler literatürde belirtilen ham çamur içeriklerine göre oldukça düşük seviyededir. Yağ-gres içeriği %TKM cinsinden en yüksek stabilize FBÇ'de gerçekleşmiştir. ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ çürütücü çıkış çamurlarında özellikle son yüklemelerde OYH değerlerinin artması ile doğru orantılı artış göstermiştir. OYH artışı ile birlikte yağ-gres ve/veya ilişkili maddelerinin (UZYA) içeriğinin artışı sistemde toksik etki yaratan faktör olarak düşünülmüştür. Stabilize çamurdaki yağ-gres içeriğinin artışı, çürütücülerde YG hidroliz hızının aşıldığını, TKM ve UKM bazında birikimi göstermektedir.



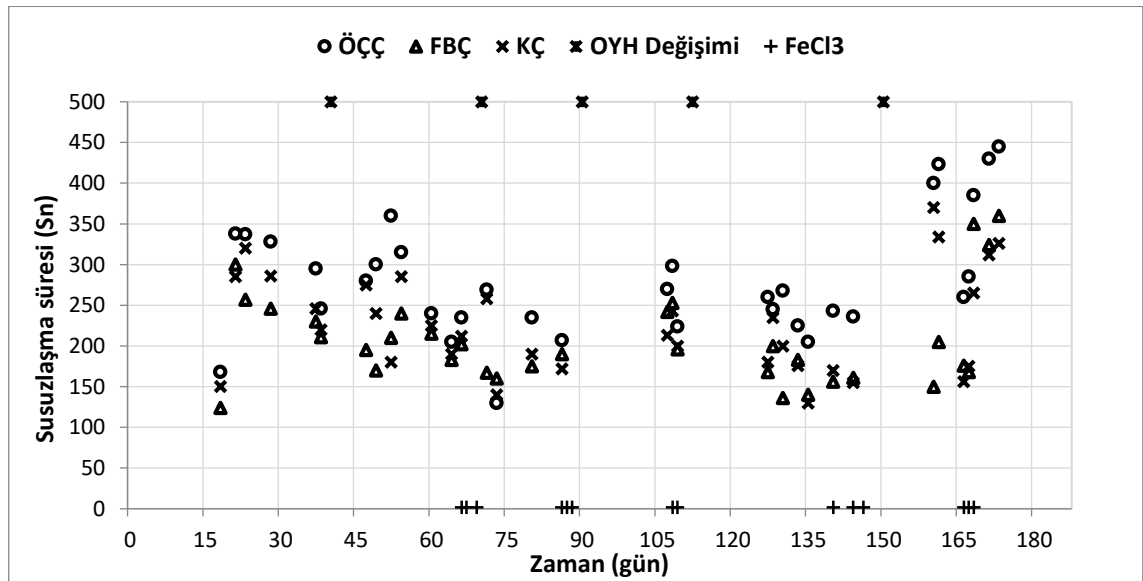
Şekil 4.5. Stabil ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ çıkış çamurlarının %YG/TKM içeriği

4.6. Susuzlaşma

Filtreleme yöntemi stabilize edilmiş çamurların süzülebilirlik (su verme) kabiliyetini ölçen önemli bir parametredir. Susuzlaşma kabiliyeti çamurun iç yapısına (bileşenler ve su tutma ilişkisi) bağlı olmakla birlikte numunenin TKM, UKM, OYH ve HBS değerleriyle orantılı olarak elde edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ çürütücülerinden alınan numuneler üzerinde yapılan analiz sonuçları Şekil 4.6'da gösterilmiştir. ÖÇÇ'nin susuzlaşma özelliği artan OYH ile 2.75 kg UKM/m³.gün değerine kadar iyileşme göstermiştir. En iyi susuzlaşma özelliği OYH:1.65 kg UKM/m³.gün için 150-235 s ile gerçekleşmiştir. FBÇ'nin en iyi susuzlaşma değeri OYH:0.7 kg UKM/m³.gün'de FeCl₃ ilavesiz ve FeCl₃ ilaveli sırasıyla 136-200 ve 156-170 s olarak gerçekleşmiştir. KÇ reaktöründe susuzlaşma değeri 200±50 s olmakla birlikte en iyi susuzlaşma OYH:0.9 kg UKM/m³.gün' de 140-258 s olarak ölçülmüştür. Bu OYH değerleri sırasıyla 20, 8 ve 20 gün HBS'lerine karşılık gelmektedir.

Her üç stabilize çamurun susuzlaşma özelliği son OYH'da düşük çıkmasında reaktörlerde artan UKM ve TKM birikimi etkili olmuştur. Çamur şartlandırıcı kimyasalların da susuzlaşma veya çamurun su verme özelliği üzerinde etkisi vardır. Demir klorürün de ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ çürütücülerde bazı OYH değerlerinde susuzlaşma üzerinde olumlu etkisi gözlenmiştir.

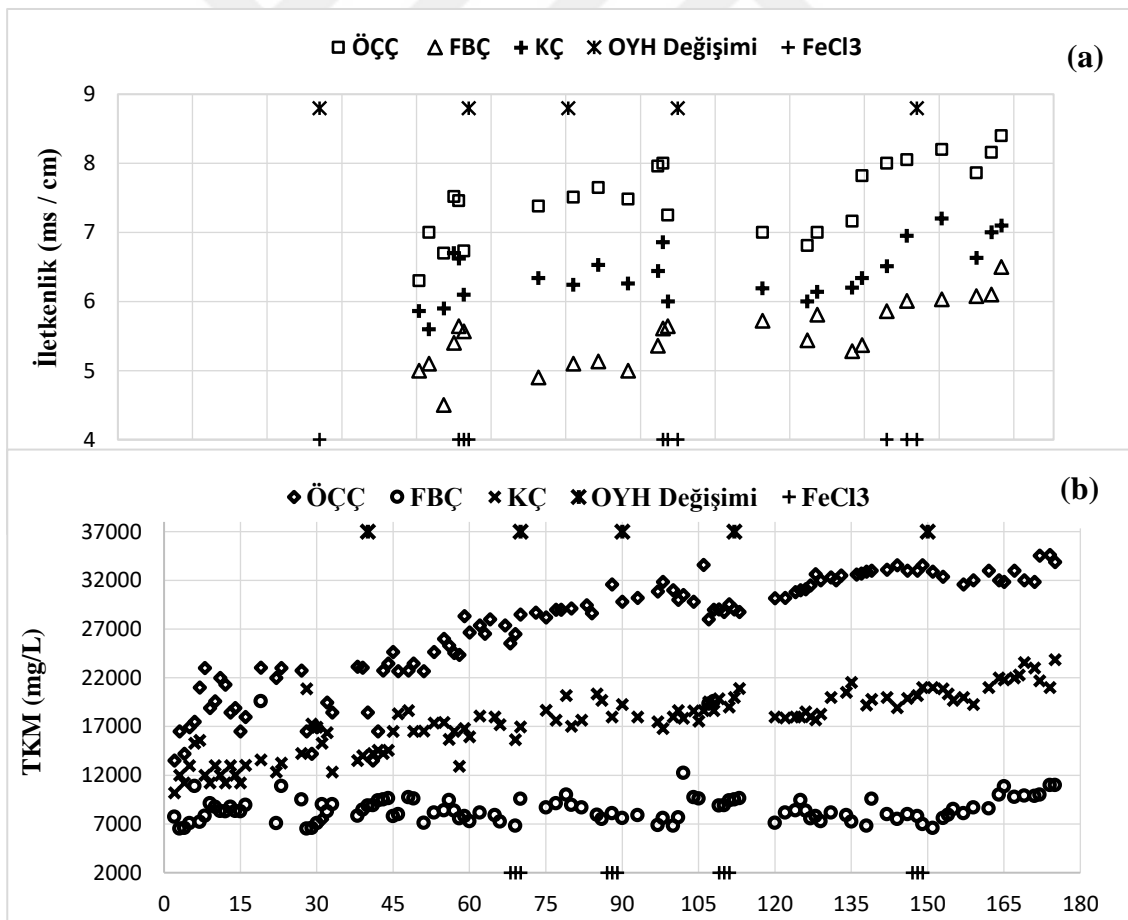


Şekil 4.6. Stabilize ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ ile elde edilen susuzlaşma/filtreleme sürelerindeki değişim

4.7. İletkenlik ve TKM değişimi

İletkenlik; su, atıksu ve arıtma çamurlarında, ortamda mevcut iyon yoğunluğuna ve elektrik enerjisini iletebilme kabiliyetine sahip çözünmüş maddelere bağlıdır. Bu nedenle suda $\mu\text{s}/\text{cm}$ iken atıksu ve çamurda bu değer ms/cm seviyesinde gerçekleşir. Bu çalışmada stabilize ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için sırasıyla iletkenlik değerleri 6.3 - 8.4 ms/cm , 4.5 - 6.5 ms/cm ve 5.6 - 7.2 ms/cm seviyelerinde ölçülmüştür (Şekil 4.7.a).

İletkenliğin artan OYH değerleri ile birlikte artması hidroliz hızının artışı göstermektedir. Artan OYH ile birlikte ÖÇÇ ve KÇ reaktörlerinde TKM konsantrasyonunda artış gözlemlenmiştir (Şekil 4.7.b). Sisteme eklenen demir klorürün de çözünürlük üzerinde olumlu etkisinin olduğu görülmüştür. Literatürde de proteinlerin parçalanmasına yardımcı olduğu belirtilmiştir (Adams ve ark., 2007; Novak ve Park, 2010).



Şekil 4.7. ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ reaktörlerinin çalışma süresince a) iletkenlik b) TKM değişimi

4.8. Nütrient İçeriği (TP ve TN)

Bu çalışmada TN ve TP konsantrasyonları stabilize ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için sırasıyla nütrient konsantrasyonları (mg/g TKM) üzerinden; FBÇ >KÇ > ÖÇÇ şeklinde bulunmuştur (Çizelge 4.1). Paralel yürütülen çalışmalarda da (Bayhan, 2018; Malekzada, 2019) yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge.4 1. Stabilize edilmiş numunelerin nütrient içeriği

Parametre	TP (mg/g TKM)	TN(mg/g TKM)	Referans
ÖÇÇ	10 – 18	45-60	Mevcut çalışma
FBÇ	35 – 50	170-200	Mevcut çalışma
KÇ	12 – 22	55-70	Mevcut çalışma
ÖÇÇ	11.1	77	(Malekzada, 2019)
FBÇ	26.8	219	
KÇ	9.7	81.3	
ÖÇÇ	12-20	56.5-84	(Bayhan, 2018)
FBÇ	30-56	120-177	

Arıtma çamurları dünya çapında bir sürü ülkede zirai olarak anaerobik çürütme işleminden sonra kullanılmaktadır. Kalitesine göre standartlardaki hangi sınıfa uyguna ona bağlı şekilde uygulanmaktadır. Literatürde arazide uygulanabilmesi için belirlenen nütrient sınır şartları uyumlu gerçekleşmiştir (Zhu ve Syed, 2018).

4.9. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılan bu çalışmada ayırık ve birleşik sistem çamur çürütme prosesi artan OYH değerlerinde incelenmiş ve günlük maksimum metan üretimi ve dönüşümü ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için sırasıyla 1100±150 mL CH₄/gün (490 mL CH₄/g UKM.gün), 500±80 mL CH₄/gün (714 mL CH₄/g UKM.gün) ve 1200±50 mL CH₄/gün (700 mL CH₄/g UKM.gün) olarak sırasıyla 1.5 (HBS:22 gün), 0.7 (HBS:8 gün) 1.1 (HBS:16 gün) OYH'lerinde elde edilmiştir. Maksimum UKM giderimi sırasıyla %57±7, 25±2 ve 30±4 olarak elde edilmiştir. FBÇ çürütmesinde azalan HBS ile UKM giderimi azalmış ve maksimum UKM giderimi %40 ile HBS 22 gün'de elde edilmiştir.

Ham ÖÇÇ'nin susuzlaşma özelliği 700-900 s'den 20 ve 22 gün HBS değerlerinde 150-235 ve 205-269 s'ye düşmüş ve artan OYH'lerde susuzlaşma kabiliyeti bozulmuştur. Ham FBÇ'nin susuzlaşma kabiliyeti çok yüksek iken (150-200

s) anaerobik çürütme sonrasında azalma gerçekleşmiş ve azalan HBS ile susuzlaşma kabiliyeti artmıştır.

TÇS bütün çürütücülerde toksik eşiğin (100-200 mg/L) altında gerçekleşmiştir. Demir klorür ilavesi her üç reaktör için susuzlaşma ve hidroliz/çözünürleşme üzerinde olumlu etki göstermiştir. YG stabilize çamurlarda oldukça düşük seviyelerde gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak ayırık sistemde daha yüksek metan eldesi, susuzlaşma özelliği ile polielektrolit sarfiyatı ve düşük hacim gereği ortaya konmuştur.

Çizelge.4 2. Mevcut çalışmanın özet tablosu

Parametreler	ÖÇÇ	FBC	KÇ
OYH (Kg UKM / m ³ .gün)	0.78 – 3	0.3 - 1.3	0.57 - 2.28
Metan Dönüşümü (ml CH ₄ /g UKM.gün)	500±80	700±30	700±50
Metan Oluşumu (mL/gün)	1200 ± 200	580 ± 110	1150 ± 225
UKMçıkış (mg/L)	11000 – 23000	3900 - 6200	9000 -14000
UKM giderimi (%)	45 -65	30 - 35	40 - 48
TÇS (mg/L)	10 – 77	5 - 50	5 - 66
pH	7.38-8.45	7.36-8.46	7.34-8.01
%YG/TKM	0.065 - 0.201	0.09 - 0.223	0.056 - 0.2
Susuzlaşma süresi (S)	140 – 450	124 - 285	130 - 370
İletkenlik (ms / cm)	6.3 - 8.4	4.5 - 6.5	5.6 - 7.2
TP (mg/g TKM)	10 – 18	35 - 50	12 – 22
TN (mg/g TKM)	45 – 60	170 - 200	55 - 70
Opt.UKMgid.hızı	0.95	0.245	0.432

4.10. Literatürdeki Çalışmalarla Kıyaslama

Bu çalışma ile paralel olarak gerçekleştirilmiş olan çalışmalara nazaran 35°C (Bayhan (2018) ve 38°C'de (Malekzada (2019) ÖÇÇ ve FBC çürütmesi için elde edilen HBS değerleri mevcut çalışmaya göre daha yüksek ve UKM giderimi daha düşük elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Sıcaklık etkisi ÖÇÇ çürütmesi dışında diğer reaktörlerde daha yüksek performans sağlamıştır. Davidsson ve ark. (2008)'nın yaptıkları çalışmada 35°C'de KÇ ile kurulan sürekli reaktörde HBS:13 gün ve 2 kg UKM/m³.gün uygulanan OYH ile %45 UKM gideriminin eldesi yüksek yükleme ve düşük HBS değerlerinin özellikle hidroliz basamağının hız sınırlayıcı olması ile UKM gideriminin en fazla

düşen parametre olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde farklı çamur fraksiyonları için farklı seviyelerde giderim ve metan oluşumu değerleri mevcuttur.

Çizelge.4 3. Çalışmanın literatürlerdeki çalışmalarla optimum değerler için kıyaslaması

Reakör Tipi	Sıcaklık (°C)	Çamur Tipi	OYH	ml CH ₄ /g UKM	HBS (gün)	(%) UKM gidermi	Referans
Yarı Sürekli	40	ÖÇÇ	1.5	500±80	22	65	Mevcut çalışma
	40	FBÇ	0.7	700±30	8	35	Mevcut çalışma
	40	KÇ	1.1	700±50	18	48	Mevcut çalışma
	38	ÖÇÇ	1.3-2.75	686	25-12	47-61	(Malekzada, 2019)
	38	FBÇ	0.33-0.67	667	24-10	34-42	
	38	KÇ	0.72-1.5	665	25-12	42-50	
	35	ÖÇÇ	0.57-1.3	450-700	25-30	50-60	(Bayhan, 2018)
	35	FBÇ	0.44-0.57	500-650	15-18	35-50	
	35-37	KÇ	3	322-391	58-8		(Yu ve ark., 2014)
	37	FBÇ	0.7-3.7	160-170	20-8	30-37	(Camilla ve ark., 2015)
	35-37	KÇ	8	455	10-9	72-75	(Kymäläinen ve ark., 2012)
	35	KÇ	-	245	20	-	(Dai ve ark., 2017)
	35	ÖÇÇ	1,9	101.5	18.7	-	(Pahl ve ark., 2008)
	35	KÇ	1.56-2.09	278	16	52	(Luostarinen ve ark., 2009)
	37	ÖÇÇ	-	519	20	-	(Hariklia ve ark., 2003b)
37	FBÇ	-	203	20	-		
Kesikli	35	ÖÇÇ	2	345 ± 2		64	(Wei ve ark., 2018)
Sürekli	35	KÇ	2,5	271	13	45	(Davidsson ve ark., 2008)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında beş farklı OYH'de, üst mezofilik sıcaklık 40°C'de ayırık ve birleşik sistem anaerobik çamur stabilizasyonu için elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- ÖÇÇ için maksimum metan dönüşümü, üretimi ve UKM gideriminde optimum OYH 1.5 kg UKM/m³.gün ve HBS ihtiyacı 22 gün olarak elde edilmiştir. Artan OYH ile UKM birikimi sadece bu reaktörde gerçekleşmiştir.
- FBÇ için maksimum metan dönüşümü, üretimi ve susuzlaşma kabiliyeti OYH 0.67 kg UKM/m³.gün ve 8 gün'lük HBS değerlerinde elde edilmiştir. Maksimum UKM giderimi ise 0.4 kg UKM/m³.gün ve 20 gün'lük HBS'de elde edilmiştir.
- Karışık/birleşik sistemde KÇ için maksimum metan dönüşümü ve üretimi OYH 1.1 kg UKM/m³.gün ve HBS 16 gün'de elde edilirken maksimum UKM giderimi ve susuzlaşma kabiliyeti 0.9 kg UKM/m³.gün ve HBS 20 gün'de gerçekleşmiştir.
- Demir klorür ilavesi ile UKM gideriminde artış ve TÇS konsantrasyonunda azalma gerçekleşmiştir. Metan üretimi ve dönüşümüne katkısı belirgin trend ve seviyede gerçekleşmemiştir.
- Susuzlaşma kabiliyeti ve gübre değeri olarak FBÇ'nin ÖÇÇ'ye göre daha yüksek kalitede stabilize çamur oluşturduğu belirlenmiştir.
- Optimum OYH ve HBS değerlerinde UKM hidroliz hızları ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için sırasıyla 0.95, 0.245 ve 0.432 kg UKM/m³.gün olarak elde edilmiştir.
- Stabilize çamurların yağ-gres içeriği %YG/TKM cinsinden ÖÇÇ, FBÇ ve KÇ için sırasıyla; %0.065-0.201, 0.090-0.223 ve 0.056-0.2 olarak düşük seviyede gerçekleşmiştir. İşletilen reaktörlerde yağ-gres içeriği OYH değerlerinin artışıyla doğru orantılı olarak artmıştır ve sistemde hidroliz hızının aşıldığını göstermektedir.

Mevcut kentsel AAT çamur hattı için 40°C'de ayırık anaerobik çamur stabilizasyonunda FBC çürütmesi için daha düşük HBS/çürütücü hacmi değerlerinde daha yüksek nitelikli çıkış çamur, susuzlaşma kabiliyeti (polielektrolit tasarrufu) metan dönüşümü/eldesi ve düşük hacim ile ÖÇÇ için mevcut uygulanan HBS değerlerinde maksimum metan dönüşümü ve UKM gideriminin mümkün olacağı sonucuna varılmıştır.

5.2 Öneriler

Ayrık sistemde stabilize ÖÇÇ nin susuzlaşma özelliği birleşik sisteme göre daha yüksek olabilir. Stabil FBC'nin ham FBC'ye göre susuzlaşma özelliği daha düşüktür ve yüksek OYH'lerde çürütme avantajlar sağlayacaktır.

Aynı zamanda ÖÇÇ'nin UKM konsantrasyonu oldukça yüksektir ve ayırık sistemde yoğunlaştırıcıya vermeden doğrudan anaerobik çürütmeye verilmesi uygun olacak ve yoğunlaştırıcı ünitesinden tasarruf edilecektir. FBC ise daha düşük UKM içeriğine sahip ve seyreltik UKM içeriğinde fakat yüksek susuzlaşma kabiliyetinde olduğu için yoğunlaştırmanın ardından yüksek yoğunluklu olarak anaerobik çürütücüye beslenebilir ve yüksek metan dönüşümü sağlayabilir.

Birleşik sistem yerine içeriği farklı olan farklı çürüme özelliği gösteren, farklı OYH ve farklı HBS değerlerine sahip olan bu çamur türlerine ayırık sistemde çürütülmesi ile zaman, hacim, kimyasal ve stabilize çamur kalitesi açısından daha uygun olacağı önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Adams, G., Witherspoon, J., Zk, E., Rh, F., Jr, H., Higgins, M., Dw, M. ve JT, N., 2007, Identifying and controlling the municipal wastewater odor environment phase 3: biosolids processing modifications for cake odor reduction., report No.03-CTS-9T, , *water environment research foundation Alexandria, VA*.
- Alqaralleh, R. M., Kennedy, K., Delatolla, R. ve Sartaj, M., 2016, Thermophilic and hyper-thermophilic co-digestion of waste activated sludge and fat, oil and grease: Evaluating and modeling methane production, *Journal of Environmental Management*, 183 (Pt 3), 551-561.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J. ve Dewil, R., 2008, Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 755–781.
- Appels, L., Lauwers, J., Degrve, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Impe, J. V. ve Dewil, R., 2011, Anaerobic digestion in global bio-energy production: potential and research challenges, *Renew. Sustain. Energy Review*, 15, 4295-4301.
- Atila, B., 2002, Biyolojik arıtma çamurlarının anaerobik çürütülmesi ve üst suyun MAP çöktürmesi ile artımı, yüksek lisans tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Bacenetti, J., Negri, M., Fiala, M. ve García, G., 2013, Anaerobic digestion of different feedstocks: impact on energetic and environmental balances of biogas process, *Science of the Total Environment*, 463-464, 541-551.
- Bayhan, C., 2018, Eysel arıtma çamur fraksiyonlarında yağ-gres ve lipid maddelerinin anaerobik stabilizasyonda giderim potansiyeli ve susuzlaşmaya etkisinin araştırılması, yüksek lisans tezi, *Selcuk üniversitesi fen bilimleri enstitüsü*
- Bouvier, J. C., Steyer, J. P. ve Delgenes., J. P., 2009, Online titrimetric sensor for the control of VFA and alkalinity in anaerobic digestion processes treating industrial vinasses., *Laboratoire de biotechnologie de l'Environnement, Institut National de la Recherche Agronomique. Avenue des Etangs, 11100 Narbonne - France*.
- Brinkman, D. ve Voss, D., 1998, Egg - shaped digesters all they are cracked up to be, *Water Environment Federation, Alexandria, VA*, 2 (Proceeding oh the 71st Annual Conference & exposition).
- Camilla, M., Andrea, B., Agata, G. ve Giuseppe, M., 2015, The impact of sludge pre-treatments on mesophilic and thermophilic anaerobic digestion efficiency: Role of the organic load, *Chemical Engineering Journal*, 270, 362–371.
- Capson-Tojo, G., Torres, A., Muñoz, R., Bartacek, J. ve Jeison, D., 2017, Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of lipid-extracted microalgae *N. gaditana* for methane production, *Renewable Energy*, 105, 539-546.

- Chen, Y., Fu, B., Wang, Y., Jiang, Q. ve Liu, H., 2012, Reactor performance and bacterial pathogen removal in response to sludge retention time in a mesophilic anaerobic digester treating sewage sludge, *Bioresour Technology*, 106, 20-26.
- Cirne, D. G., Paloumet, X., Björnsson, L., Alves, M. M. ve Mattiasson, B., 2007, Anaerobic digestion of lipid-rich waste-Effects of lipid concentration, *Renewable Energy*, 32 (6), 965-975.
- Çevre-Ş, B., 2017, Atık yönetimi sempozyumu sonuç bildirgesi ve sonuç raporu. Çevre yönetimi genel müdürlüğü, Çevre ve şehircilik Bakanlığı.
- Dai, X., Hu, C., Zhang, D., Dai, L. ve Duan, N., 2017, Impact of a high ammonia-ammonium-pH system on methane-producing archaea and sulfate-reducing bacteria in mesophilic anaerobic digestion, *Bioresour Technology*, 245, 598-605.
- Davidsson, A., Lövestedt, C., Jansen, J. C., Gruvberger, C. ve Aspegren, H., 2008, Co-digestion of grease trap sludge and sewage sludge, *Waste Management*, 28, 986-992.
- Deublein, D. ve Steinhauser, A., 2008, Biogas from Waste and renewable Resources: An Introduction. , *Wiley-VCH, Weinheim*, 89-290.
- Doğan, V., 2011, Gıda endüstrisi atıksu arıtma çamaurları kullanılarak vanadyum ve florür giderimi, Yüksek lisans tezi *İstanbul üniversitesi fen bilimleri enstitüsü*, 139
- Ebrahimi, G. M., Malekzade, M. N. ve Erdirençelebi, D., 2018, Performance and Final Sludge Quality Investigation of Separate and Mixed Sewage Sludge Fractions at Upper Mesophilic Range, . International Eurasian Conference On Biological and Chemical Sciences. Ankara / Turkey.
- EPA, 1979, Process design manual sludge treatment and disposal, office of research and development, *U.S. environmental protection agency, Washington, DC*.
- EPA, 2008, Municipal Solid Waste in The United States: 2007 Facts and Figures. EPA530-R-08-010. November.
- Erden, G. ve Filibeli, A., 2009, Improving anaerobic biodegradability of biological sludges by Fenton pre-treatment: Effects on single stage and two-stage anaerobic digestion, *Desalination*, 251, 58-63.
- Erdirençelebi, D., 2016, Biyolojik arıtma anaerobik arıtım, ders notları, *selcuk üniversitesi mühendislik fakültesi*.: 53.
- European, C., 2008b, Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land; Final Report; Part III: Project Interim Reports In: W. a. R. f. t. E. C. Milieu Ltd, DG Environment under Study Contract DG ENV.G.4/ETU/2008/0076r, (Ed.).
- Eurostat, 2015, Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s)), 68.

- Filibeli, A., 2017, Arıtma Çamurlarının İşlenmesi *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi* p. (291), 1-29, 67-121.
- Forster-Carneiro, T., Riau, V. ve Pe´rez, M., 2010, Mesophilic anaerobic digestion of sewage sludge to obtain class B biosolids: Microbiological methods development, *biomass and bioenergy*, 34, 1805-1812.
- Fytili, D. ve Zabaniotou, A., 2008, Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 116–140.
- Grosser, A., Neczaj, E., Singh, B. R., Almas, A. R., Brattebo, H. ve Kacprzak, M., 2017, Anaerobic digestion of sewage sludge with grease trap sludge and municipal solid waste as co-substrates, *Environmental Research*, 155, 249-260.
- Grosser, A. ve Neczaj, E., 2018, Sewage sludge and fat rich materials co-digestion - Performance and energy potential, *Journal of Cleaner Production*, 198, 1076-1089.
- Guangyin, Z., Xueqin, L., Hiroyuki, K., Youcai, Z. ve Yu-You, L., 2017, Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: Current advances, full-scale application and future perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 559-577.
- Hariklia, N., Gavala, Yenal, U., Ioannis, V., Skiadas, Westermann, P., Birgitte, K. ve Ahring, 2003a, Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature, *Water Research*, 37, 4561-4572.
- Hariklia, N., Gavala, Yenal, U., Ioannis, V., Skiadas, Westermann, P., Birgitte, K. ve Ahring, 2003b, Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge. Effect of pre-treatment at elevated temperature, *Water Research*, 37, 4561–4572.
- IEA, 2016, Renewables energy information, International energy agency, paris 325.
- Kacprzak, M., Neczaj, E., Fijalkowski, K., Grobelak, A., Grosser, A., Worwag, M., Rorat, A., Brattebo, H., Almas, A. ve Singh, B. R., 2017, Sewage sludge disposal strategies for sustainable development, *Environmental Research*, 156, 39-46.
- Kevin, G. ve Wilkinson, 2011, A comparison of the drivers influencing adoption of on-farm anaerobic digestion in Germany and Australia, *biomass and bioenergy*, 35, 1613-1622.
- Kim, M., Ahn, Y.-H. ve Speece, R. E., 2002, Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic, *Water Research*, 36, 4369-4385.
- Kuang, Y., 2002, Enhancing anaerobic degradation of lipids in wastewater by addition of co-substrate, Doctor of philosophy, *Environmental science murdoch university*

- Kymäläinen, M., Lähde, K., MArnold, Kurola, M., Romantschuk, M. ve Kautola, H., 2012, Biogasification of biowaste and sewage sludge Measurement of biogas quality, *Journal of Environmental Management*, 95, 122-127.
- Luostarinen, S., Luste, S. ve Sillanpää, M., 2009, Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant, *Bioresource Technology*, 100 , 79–85.
- Mackenzie, L. ve Davis, 2015, Anaerobik çürütücü tasarım esasları, In: Su ve atıksu mühendisliği, tasarım esasları ve uygulamaları, Eds: Toröz, İ., *Michigan state university* p. 27-38.
- Malekzada, M. N., 2019, Investigation of separate anaerobic stabilization potential and stabilized sludge quality of primary and waste biological sewage sludge at 38 °C mesophilic temperature, Master's thesis, *Selçuk university graduate school of natural and applied sciences department of environmental engineering*.
- Metcalf ve Eddy, 2014, Processing and treatment of sludge In: Wastewater engineering treatment and resource recovery Eds, fifth edition, *McGraw - Hill Education* p. 1449-1559.
- Moen, G., 2000, Comparison of thermophilic and mesophilic digestion, Master's Thesis, *Department of civil and environmental engineering university of Washington, WA*.
- Muhcu, A., 2012, Arıtma tesisi atık çamurlarının anaerobik kontakt reaktör ile arıtımı, Yüksek lisans tezi *Gebze yüksek teknoloji enstitüsü çevre mühendisliği anabilim dali*, 63.
- Novak, J. ve Park, C., 2010, Effect of aluminum and iron on odors, digestion efficiency, and dewatering properties, *Report 03-CTS-9b, WERF, IWAP ISBN: 978-1-84339-283-5/1-84339-283-6*.
- Öztürk, i., 2007, Havasız arıtmanın esasları, In: Anaerobik arıtma ve uygulamaları, Eds, *İstanbul teknik üniversitesi inşaat fakültesi çevre mühendisliği*, p. 26-50
- Pahl, O., Firth, A., MacLeod, L. ve Baird, J., 2008, Anaerobic co-digestion of mechanically biologically treated municipal waste with primary sewage sludge - a feasibility study, *Bioresource Technology*, 99, 3354–3364.
- Riau, V., de la Rubia, M. A. ve Perez, M., 2010, Temperature-phased anaerobic digestion (TPAD) to obtain Class A biosolids. a discontinuous study, *Bioresource Technology*, 101 (1), 65-70.
- Rubio-Loza, L. A. ve Noyola, A., 2010, Two-phase (acidogenic-methanogenic) anaerobic thermophilic/mesophilic digestion system for producing Class A biosolids from municipal sludge, *Bioresource Technology*, 101 (2), 576-585.
- Ruiz, B. P., Acosta, E., Gonz'alez, A., Alvarez, G. a. ve Ortiz, P., 2008, Regulation of volatile fatty acids and total alkalinity in anaerobic digesters, *Proceedings of the*

17th World Congress the international federation of automatic control Seoul, Korea, .

- Ryan, Z., Karlsson, A., Beck, D. A. C., Ejlertsson, J., Yekta, S. S., Bjorn, A., Stensel, H. D. ve Svensson, B. H., 2016, Microbial community adaptation influences long-chain fatty acid conversion during anaerobic codigestion of fats, oils, and grease with municipal sludge, *Water Res*, 103, 372-382.
- Salama, E.-S., Saha, S., Kurade, M. B., Dev, S., Chang, S. W. ve Jeon, B.-H., 2019, Recent trends in anaerobic co-digestion: Fat, oil, and grease (FOG) for enhanced biomethanation, *Progress in Energy and Combustion Science*, 70, 22-42.
- Samolada, M. C. ve Zabaniotou, A. A., 2014, Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece, *Waste Manag*, 34 (2), 411-420.
- Scaglia, B., D'Imporzano, G., Garuti, G., Negri, M. ve Adani, F., 2014, Sanitation ability of anaerobic digestion performed at different temperature on sewage sludge, *Science of the Total Environment*, 466-467, 888-897.
- Silva, S. A., Salvador, A. F., Cavaleiro, A. J., Pereira, M. A., Stams, A. J., Alves, M. M. ve Sousa, D. Z., 2016, Toxicity of long chain fatty acids towards acetate conversion by *Methanosaeta concilii* and *Methanosarcina mazei*, *Microbial Biotechnology*, 9 (4), 514-518.
- Simon, M., Wandera, Qiao, W., Jiang, M., Dalal, E., Gapani, Shaojie, B. ve Renjie, D., 2018, AnMBR as alternative to conventional CSTR to achieve efficient methane production from thermal hydrolyzed sludge at short HRTs, *Energy*, 159, 588-598.
- Tandukar, M. ve Pavlostathis, S. G., 2015, Co-digestion of municipal sludge and external organic wastes for enhanced biogas production under realistic plant constraints, *Water Research*, 87, 432-445.
- Tezcan, E., 2007, Adapazarı karaman atıksu arıtma tesisi çamurlarının giderimi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Sakarya Üniversitesi*.
- Thiebaud, M., Dumay, E., Picart, L., Guiraud, J. P. ve Cheftel, J. C., 2003, High-pressure homogenisation of raw bovine milk. Effects on fat globule size distribution and microbial inactivation, *International Dairy Journal*, 13 (6), 427-439.
- Totzke, D., 2008, Anaerobic treatment technology overview.
- Türker, M., 2008, Anaerobik biyoteknoloji ve biyoenerji üretimi, *Çevkor vakfi yayınları, izmir*, 260.
- Türker, M. ve Pakmaya, i., 2008, Anaerobik biyoteknoloji ve biyogaz üretimi dünyada ve türkiyede eğilimler *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES*.

- Tyagi, V. K. ve Shang, L.-L., 2013, Sludge: A waste or renewable source for energy and resources recovery?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 708–728.
- Vasco, C.-J., Khanal, S., Manandhar, A. ve Shah, A., 2018, Anaerobic digestion for bioenergy production: Global status, environmental and techno-economic implications, and government policies, *Bioresour Technology*, 247, 1015-1026.
- Vincent, O., Flaherty, Mahony, T. s., O, R., Kennedy ve Colleran, E., 1998, Effect of pH on growth kinetics and sulphide toxicity thresholds of a range of methanogenic, syntrophic and sulphate-reducing bacteria, *Process Biochemistry*, 33, 555 - 569.
- Wang, X., Bai, X., Li, Z., Zhou, X., Cheng, S., Sun, J. ve Liu, T., 2018, Evaluation of artificial neural network models for online monitoring of alkalinity in anaerobic co-digestion system, *Biochemical Engineering Journal*, 140, 85-92.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J. ve Jones, D. L., 2011, Evaluation of near infrared spectroscopy and software sensor methods for determination of total alkalinity in anaerobic digesters, *Bioresour Technol*, 102 (5), 4083-4090.
- Wei, W., Zhengqing, C., Jie, F., Guo-Jun, Ang, L., Xu, Z., Bing-Jie, N., Dongbo, W. ve Qilin, W., 2018, Zero valent iron enhances methane production from primary sludge in anaerobic digestion, *Chemical Engineering Journal*, 351, 1159–1165.
- Yang, G., Zhang, G. ve Wang, H., 2015, Current state of sludge production, management, treatment and disposal in China, *Water Research*, 78, 60-73.
- Yu, D., Kurola, M., Lahde, K., Kymalainen, M., Sinkkonen, A. ve Romantschuk, M., 2014, Biogas production and methanogenic archaeal community in mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion processes, *Journal of Environ. Manage.*, 143, 54-60.
- Zhang, Q., Hu, J., Lee, D. J., Chang, Y. ve Lee, Y. J., 2017, Sludge treatment: Current research trends, *Bioresource Technology*, 243, 1159-1172.
- Zhen, G., Lu, X., Li, Y.-Y. ve Zhao, Y., 2014, Combined electrical-alkali pretreatment to increase the anaerobic hydrolysis rate of waste activated sludge during anaerobic digestion, *Applied Energy*, 128, 93-102.
- Zhu, G. ve Syed, R., 2018, Wastewater treatment and reuse theory and design examples, post-treatment, reuse, and disposal., *Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business*, p. 747.
- Zhu, K., 2013, Effects of long chain fatty acids on completely mixed anaerobic digesters treating municipal sewage sludge, Master of science in *civil engineering Virginia polytechnic institute.*, P. 57,

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Gool Mohammad EBRAHIMI
Uyruğu : Afgan
Doğum Yeri ve Tarihi : Daykundi / Afganistan 1990
Telefon : 05436311045
Faks : -
e-mail : Goolmohammad12@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Ulqan Shahrestan Lisesi / Shahrestan / Daykundi	2009
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi / Selçuklu / Konya	2016
Üniversite	: Aksaray Üniversitesi/ Aksaray	2019
Yüksek Lisans	: Konya Teknik üniversitesi / Selçuklu / Konya	2019
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014	KOSKİ İçme suyu arıtma Tesisi	Stajyer
2015	Lublin Teknoloji üniversitesi	Stajyer
2018	KOSKİ İnşaat Yatırım Birimi	Stajyer

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

Türkçe, İngilizce

YAYINLAR

Drinking Water Supply and Wastewater Disposal in Afghanistan (Kabul) 1. Ulusal Çevre Mühendisliği Öğrencileri Sempozyumu (UÇMÖS), 30-31 Mayıs, 2016, Konya, Türkiye.

Performance and Final Sludge Quality Investigation of Separate and Mixed Sewage Sludge Fractions at Upper Mesophilic Range, International Eurasian Conference On Biological and Chemical Sciences 26 - 27 April 2018 Ankara / Turkey (Ebrahimi ve ark., 2018)