



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA ENDÜSTRİSİ ŞEKERLEME ATIKSULARININ İKİ AŞAMALI
ANAEROBİK BİYOLOJİK ARITIMININ ARAŞTIRILMASI

BAŞAK BERNA PALABİYİK

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yalçın ÖKTEM

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Mühendisliği Programı

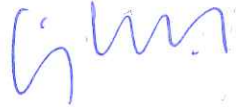
İSTANBUL-2019

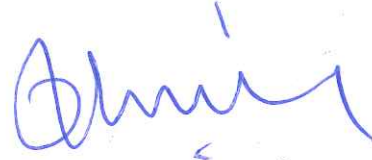
Kontrol edilmiştir
Yalçın Öktem

Bu çalışma, 9.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliğı Anabilim Dalı,
Çevre Mühendisliğı Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Doç. Dr. Yalçın Aşkın OKTEM
İstanbul Üniversitesi
Fakülte


Doç. Dr. Serdar AYDIN
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi


Doç. Dr. Ali Rıza DİNÇER
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Çorlu Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, numaralı projesi ile desteklenmiştir.



ÖNSÖZ

Temmuz 2019

Başak Berna Palabıyık

Çalışmam süresince maddi ve manevi her türlü yardımı ve fedakârlığı sağlayan, her koşulda destek olan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirmeye yönelik de birkaç adım ileride olmamı sağlayan, her şeyin dışında bana bir abi gibi yaklaşan, lisans tezimin çalışmasını da beraber yürüttüğüm, çalışmamın yöneticisi değerli Sayın Hocam Doç. Dr. Yalçın Aşkın ÖKTEM'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin hazırlanması sırasında beni cesaretlendiren, maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen, her konuda destek sağlayan, çalışmamı sürdürürken bana ortam hazırlayan, her koşulda ve şartta verdiğim her kararda arkamda duran, destekleyen annem Nevin PALABIYIK'a ve babam Mehmet PALABIYIK'a, ve bu hayattaki en iyi dostum ablam Burcu PALABIYIK'a, ithaf ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
DENKLEM LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi.....	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	2
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1. ANAEROBİK ARITMAYA GİRİŞ.....	2
2.2. ATIKSU ARITMA YÖNTEMLERİ.....	4
2.3. ANAEROBİK MİKROBİYOLOJİSİ.....	6
2.3.1. Biyolojik Arıtma.....	7
2.3.1.1. Biyolojik Arıtma Sistemleri.....	7
2.3.1.2. Biyolojik Arıtmada Mikroorganizmaların Rolü.....	7
2.3.1.3. Mikroorganizma Çoğalmasında Besi Maddesi İhtiyacı.....	7
2.3.1.4. Karbon ve Enerji Kaynakları.....	7
2.3.1.5. Nütrient ve İz element İhtiyacı.....	8

2.3.1.6. Biyolojik Arıtmada Önemli Mikroorganizmalar.....	8
2.4. ANAEROBİK MİKROBİYOLOJİ.....	9
2.4.1. Anaerobik Arıtmanın Basamakları.....	11
2.4.1.1. Hidroliz.....	11
2.4.1.2. Asit Fazı.....	11
2.4.1.3. Metan Fazı.....	12
2.5. ANAEROBİK ARITIMDA ETKİLİ OLAN PARAMETRELER VE İŞLETİLMESİ KONTROLÜ.....	14
2.5.1. Sıcaklık.....	14
2.5.2. pH.....	15
2.5.3. Alkalinite.....	15
2.5.4. Besi Maddesi İhtiyacı (KOİ/N/P).....	15
2.5.5. Çamur Yaşı, Hidrolik Bekletme Süresi ve Organik Yükleme Hızı.....	17
2.5.6. Toplam Uçucu Yağ Asitleri.....	17
2.6. ANAEROBİK REAKTÖR TİPLERİ.....	18
2.6.1. Askıda Çoğalan Sistemler.....	18
2.6.1.A. Anaerobik Tam Karışımli Reaktör.....	18
2.6.1.B. Anaerobik Kontakt Prosesler.....	18
2.6.1.C. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörleri.....	19
2.6.2. Biyofilm Sistemler.....	19
2.6.2.1. Sabit Yataklı Prosesler.....	19
2.6.2.2. Anaerobik Akışkan Yataklı Prosesler.....	19
2.6.3. Hibrit Sistemler.....	20

2.6.3.A. İki Fazlı Sistemler.....	20
2.7. ANAEROBİK REAKTÖR TİPLERİ KULLANILARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	23
2.8. ŞEKERLEME ENDÜSTRİSİ PROFİLİ.....	25
2.8.1. Şekerleme Endüstrisi Karakteristikleri.....	25
2.8.2. Şekerleme Endüstrisi Üretim Özellikleri.....	26
2.8.3. Ürünün Tanımı.....	28
2.8.3.1. Şekerleme Endüstrisi Atıksuyu Özellikleri ve Arıtımı.....	29
2.8.3.2. Şekerleme Endüstrisi Literatür Çalışmaları.....	28
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	32
3.1. Reaktör Konfigürasyonları	32
3.2. Analitik Metodlar ve Besi Maddeleri.....	36
3.3. Deneysel Planlama	36
3.4. Atıksuyun Karakterizasyonu.....	39
3.5. Asitleşme derecesi, hidroliz verimi, UYA üretimi ve bileşimi.....	41
4. BULGULAR.....	42
4.1. Anaerobik Fermentasyon.....	42
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	50
KAYNAKLAR.....	51
EKLER.....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.4: Anaerobik arıtma sürecinde kompleks organik maddenin giderimi.....	10
Şekil 3.1. İki fazlı anaerobik biyolojik arıtma süreci.....	35
Şekil 4.1.a: Kesikli çalışmada farklı HBS’de asitleşme – pH ilişkisi.....	44
Şekil 4.1.b: Kesikli çalışmada farklı HBS’de asitleşme – pH değişimi	45
Şekil 4.1.c: Kesikli çalışmada farklı HBS’de süzölmüş KOİ’nin değişimi.....	45
Şekil 4.2.c: Asidifikasyon reaktöründe farklı HBS’ler de NH ₃ oluşum paterni	46
Şekil 4.3: Geri Devirsiz UASB reaktörde farklı HBS’de organik madde giderim verimi ve giriş-çıkış organik madde konsantrasyonları.....	48
Şekil 4.3.1: Farklı geri devir oranlarına bağlı organik madde giderim verimi.....	49

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Aerobik ve anaerobik arıtma karşılaştırılması	4
Tablo 2.2: Kimyasal arıtma teknolojileri	5
Tablo 2.2.1: Biyolojik arıtma teknolojileri	6
Tablo 2.4.1.2. Asidojenesis Aşaması	12
Tablo 2.4.1.3: Temel metanojenik reaksiyonlar ve serbest enerji değişimi.....	13
Tablo 2.4.1.4: Mezofilik fazda metanojenlerin kinetik katsayıları	13
Tablo 2.5: Anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevre şartları	14
Tablo 2.5.1: Havasız çamur yataklı sistemlerde tasarım yükünün sıcaklık ile değişimi	13
Tablo 2.5.4: Optimum KOİ/N/P.....	16
Tablo 2.5.4.1: Anaerobik arıtmada toksik etki yapan madde konsantrasyonları	17
Tablo 2.6.3: Hibrit yukarı akışlı çamur yatağı ve anaerobik filtre'nin avantaj- dezavantajları.....	20
Tablo 2.6.3.1.: Anaerobik arıtma sistemlerinin karşılaştırılması	21
Tablo 2.8.3: Şekerlemelerde kullanılan hammaddeler	29
Tablo 2.8.3.1: SKKY şeker üretimi ve benzerleri için atıksu deşarj limitleri.....	30
Tablo 2.8.3.2. Şekerleme Endüstrisi atıksuyu ile yapılan çeşitli çalışmaları.....	30
Tablo 2.8.3.3. Şekerleme Endüstrisi atıksuyu ile yapılan çeşitli çalışmaları.....	31
Tablo 3. Hibrit UASB boyutları ve Hidrolik Bekletme Süresinin Hesabı.....	34
Tablo 3.1. Dolgu malzemesinin özellikleri.....	35
Tablo 3.3. Anaerobik reaktörlerde izleme parametreleri.....	39
Tablo 3.3.1. Kullanılan laboratuvar aletleri ve analitik metotlar.....	40
Tablo 3.4. Şekerleme endüstrisi atıksuyu karakterizasyonu.....	37
Tablo 4.1. Anaerobik fermentasyon için optimizasyon çalışması.....	43

DENKLEM LİSTESİ

	Sayfa No
Denklem 2.4.1.2: (2.4.1.2).....	41
Denklem 3.5: (3.5).....	38



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

β : Beta
°C : Santigrat Derece

Kisaltmalar **Açıklama**

BOİ : Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ : Kimyasal Oksijen İhtiyacı
lt : Litre
 μm : Mikro Metre
ADP : Adenozin Difosfat
NAD⁺ : Nikotinamid Adenin Dinükleotit
ATP : Adenozin Trifosfat
UYA : Uçucu Yağ Asitler
OYH : Organik Yükleme Hızı
HBS : Hidrolik bekletme süresi
UAKM : Uçucu Askıda Katı Madde
AKM : Askıda Katı Madde
ZSF : Balık Biyodeneyi
TKN : Toplam Kjeldahl Azotu
TP : Toplam Fosfor
PO₄-P : Fosfat
SO₄²⁻ : Sülfat

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GIDA ENDÜSTRİSİ ŞEKERLEME ATIKSULARININ İKİ AŞAMALI ANAEROBİK BİYOLOJİK ARITIMININ ARAŞTIRILMASI

Başak Berna Palabıyık

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Yalçın Aşkın Öktem

Bu çalışmada gıda endüstrisi şekerleme atıksularının iki aşamalı anaerobik biyolojik arıtımı karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı ise, tek ve iki kademeli anaerobik arıtma sistemlerinde organik madde giderimi ve bu giderim verimini etkileyen nedenler incelenmesidir. İki adet reaktör kullanılmıştır. İki fazlı sistemlerde temel olarak iki farklı mikroorganizma grubunun farklı aktivitelerinin olması esasına dayanır. Metanojenik aktivite hızı düşük, asidifikasyon ve hidroliz fazları ise büyük bir hızla oluşur. Yüksek hızla çalıştırıldığına metanajonesis fazı engellenmiş olur. İkinci aşamada ise metanojenler, asetojenlere paralel olarak çalışırlar. Atıksun karakteri 18533 mg/l KOİ ve 17005 mg/l BOİ₅'tir. Anaerobik fermentasyon reaktörü, 4 litre aktif hacme sahip bir cam malzemedir, 90 devir/dakika'lık bir hızda tam karışımli olarak kurulmuştur. Ortam sıcaklığı 35-37°C civarında tutulmaktadır. Reaktörde numune alma musluğu, gaz toplama hattı, giriş ve çıkış hatları, asit-baz girişi sağlayan bir hat, online pH ayarlamasını sağlayacak pH metreye bağlı reaktöre batık vaziyette bir pH probu yuvası bulunmaktadır. İkinci bir reaktör olarak, iki kısımdan oluşan ve 13 litre aktif hacme sahip, 40 cm boy, 20,5 cm çapa sahip, hibrit yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı tankı kullanılmaktadır.

Temmuz 2019, 70 sayfa.

Anahtar kelimeler: İki aşamalı anaerobik arıtma, Asidifikasyon, Hibrit yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı, Şekerleme endüstrisi

SUMMARY

Type of Thesis

INVESTIGATION OF TWO-STAGE ANAEROBIC BIOLOGICAL TREATMENT OF FOOD INDUSTRY CONFECTIONARY WASTEWATER

Başak Berna Palabıyık

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yalçın Aşkın Öktem

In this study, two stage anaerobic biological treatment of confectionery waste water in food industry was compared. The aim of the study is, investigate the removal of organic matter in single and two stage anaerobic treatment systems and finding the reasons which affecting this removal efficiency. Two reactors were used. In two phase systems, it is basically based on the fact that two different groups of micro organisms have different activities. Methanogenic activity rate was low and acidification and hydrolysis phases was occurred with great speed. When operated at high speed, the methanogenesis phase was inhibited. In the second stage, methanogens work in parallel with acetogenes. The character of waste is 18533 mg/ lt KOI and 17005 mg/lt BOI₅. The anaerobic fermentation reactor was set up in a fullymixed mixture of 4 litres of active glass material at a rate of 90 rpm. Environment (Ambient) temperature is kept around 35-37 °C. The reactor has a sampling tap, gas collection line (which is connected to a gas collection bottle), inlet and outlet lines, an acid base inlet, a pH probe housing submerged to the reactor connected to pH meter to enable online pH adjustment. As a second reactor, a hybrid upstream anaerobic sludge bed tank of 40 cm length, 20.5 cm diameter, consisting of two parts and having an active volume of 13 liter is used.

July 2019, 70 pages.

Keywords: Two-stage anaerobic treatment, Acidification, Hybrid upstream anaerobic sludge bed, Confectionery industry

1. GİRİŞ

1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Canlı ve cansız varlıkların etkileşim içerisinde olduğu ortama çevre denir. Çevre kirliliği ise çevreye giren kirletici maddelerin, doğal/yapay maddelerin veya enerjilerin çevrenin şartlarını ve o çevrede yaşayan canlıların hayatını olumsuz hale getirmesi sonucu oluşur. Kirlilik kimyasal madde, toprak, hava, su, gürültü, ısı ve ışık gibi enerjileri kapsayabilir. Toprak kirliliği toprağın yapısının yabancı maddelerle kirlenmesi sonucu oluşabildiği gibi hava ve su kirliliği sonucu da oluşabilmektedir. Hava kirliliği atmosferdeki partiküller, toz, duman ve saf olmayan su buharı şeklinde olabilir. Su kirliliği zararlı maddelerin suyun yapısında normalinden fazla bulunması sonucu veya insan kaynaklı oluşabilir. İnsan kaynaklı kirlenme, gereksiz gübre kullanımı, deterjan kullanımı, atık yağların kanalizasyona dökülmesi, gereksiz su kullanımı, katı atıkların su kaynaklarına atılması ile hem suların hem de orada yaşayan canlıların zarar görmesi vs. şeklinde sayılabilir. Ülkemizin üç tarafının denizlerle çevrili olmasının veya vücudumuzun 3/4' ünün sularla çevrili olması, dünyanın 3/4' ünün sularla kaplı olması (suyun %97,5'ini tuzlu sular, %2,5'lik tatlı su ve %70'i Antartika ve Greenland'da buz kütlesi halinde bulunmaktadır.) [1]. Su açısından zengin olduğumuz anlamına gelmez. Günümüzde dünya nüfusundaki artış, sanayinin ilerlemesi, teknolojinin gelişmesi ve çevre koruma bilincinin gelişmemesi nedeniyle, sularımızın büyük bir çoğunluğu kirlenmekte, içilebilir seviyedeki su miktarı ise giderek azalmaktadır.

Zamanla artan sanayi ve canlı popülasyonu nedeniyle, gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakmak için, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarımızı korumak ya da önlem almak mecburiyetindeyiz. Bunun için yeni arıtma yöntemleri bulunmalıdır. Atıksu arıtma tesislerinin kuruluşu ve işletilmesi maliyetli, enerji ve kimyasal ihtiyacı fazla, çevreye zarar vermemek için alınacak önlemler ve ekipman giderleri için yüklü miktarlar gerektirdiği için mantıklı bir yatırım olarak görülmemektedir. Bunun yerine kendi enerjisini kendisi sağlayan sistemler kullanılmalıdır. Biyolojik arıtma yöntemi sayesinde çok daha ekonomik arıtma verimi sağlanmıştır. Bunların başında atıksu arıtma sistemleri arasında, sağladığı avantajlar ile popülerlik kazanan anaerobik arıtma prosesi dikkat çekmiştir [2].

1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Şekerleme endüstrisi; jelibon, marshmallow, sakız ve lolipop vb. şekerleme ürünlerini üreten kuruluştur. Şekerleme endüstrisinde ham madde olarak, şeker, glikoz, su ve çeşitli tatlandırıcı, renklendirici ve koku verici maddeler kullanılır. Şekerleme endüstrisi, üretimde kullanılan su miktarı, oluşan atıksudan daha az olmasına karşın, yüksek kirletici konsantrasyonuna ve genel olarak asidik bir karaktere sahiptir. Çevrede organik ve inorganik kirlilik yaratması sebebiyle arıtılması büyük önem taşımaktadır. Ancak, şeker endüstrisinde oluşan atıklar, karbonhidratlar açısından çok zengin olduğu için biyogaz oluşum sürecinde uçucu yağ asitleri ve düşük pH gibi fermentasyon ürünlerinin birikimine neden olur. Buna çözüm olarak iki aşamalı anaerobik sindirim kullanımı uygun olabilmektedir. Centre for Business and Economics Research (CeBER)'nin şekerleme endüstrisi atıksularının değerlendirilmesine yönelik yapılan araştırma projelerinde, şekerleme ürünlerinin %75 karbonhidrat, %14 yağ, %6 su ve %4 protein bileşenlerinden faydalanılabilir. Şekerli atıksuyun besin içeriğinde ise 50 000-80 000 ppm KOİ ve 40 000-60 000 ppm BOİ vardır. Bir şekerleme endüstrisinden yaklaşık olarak yılda 625 ton kadar atık üretilebilmektedir.

Bu çalışmada gıda endüstrisi şekerleme atıksularının iki aşamalı anaerobik biyolojik arıtımı karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı ise, tek ve iki kademeli anaerobik arıtma sistemlerinde organik madde giderimi ve bu giderim verimini etkileyen nedenler incelenmesidir. İki adet reaktör kullanılmıştır. İki fazlı sistemlerde temel olarak iki farklı mikroorganizma grubunun farklı aktivitelerinin olması esasına dayanır. Metanojenik aktivite hızı düşük, asidifikasyon ve hidroliz fazları ise büyük bir hızla oluşur. Yüksek hızla çalıştırıldığına metanajonesis fazı engellenmiş olur. İkinci aşamada ise metanojenler, asetojenlere paralel olarak çalışırlar. Atıksun karakteri 18533 mg/l KOİ ve 17005 mg/l BOİ₅'tir. Anaerobik fermentasyon reaktörü, 4 litre aktif hacme sahip bir cam malzemedir, 90 devir/dakika'lık bir hızda tam karışımli olarak kurulmuştur. Ortam sıcaklığı 35-37°C civarında tutulmaktadır. Reaktörde numune alma musluğu, gaz toplama hattı (bir gaz toplama şişesine bağlı), giriş ve çıkış hatları, asit-baz girişi sağlayan bir hat, online pH ayarlamasını sağlayacak pH metreye bağlı reaktöre batık vaziyette bir pH probu yuvası bulunmaktadır. İkinci bir reaktör olarak, iki kısımdan oluşan ve 13 litre aktif hacme sahip, 40 cm boy, 20,5 cm çapa sahip, hibrit yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı tankı kullanılmaktadır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ANAEROBİK ARITMAYA GİRİŞ

Kirlilik yükü çok yüksek olan atıksuların yani, tarımsal, gıda sanayi, çöp deponi sahalarındaki sızıntılar ve evsel arıtma çamuru arıtılmasında en çok anaerobik arıtma teknolojisi tercih edilmektedir. Anaerobik arıtma prosesleri endüstriyel atıksuların arıtımında yani yüksek miktarda organik kirlilik içeren atıksuların arıtılmasında ekonomik açıdan aerobik sistemlere göre daha fazla tercih edilmektedir. Temelde, oksijensiz ortamda, organik maddelerin biyolojik olarak ayrıştırılması esasına dayanır. Meydana gelen biyogaz karışımının içeriğinde ise metan %65-85 bulunurken, karbondioksit ise %15-35 olarak bulunur. İki aşamada gerçekleşir;

1. aşama hidroliz ve asit fermantasyonu
2. aşama metan oluşumu'dur.

Oluşan metan gazının kalorifik değerinin yüksek olması sebebiyle enerji kaynağı olarak da kullanılır. Arıtma esnasında yağlar, karbonhidratlar ve proteinlerde parçalanır. Yüksek miktarlarda su ve organik madde içeren atıksuların arıtılmasında kullanılan anaerobik arıtma, biyolojik ve ön arıtma kademelerinden oluşur. Organik maddelerin sadece %5-15'i biyokütleyle dönüşür. Çamur çürütülerek hacimce azalması sağlanır ve zararlı mikroorganizmaların giderimi sağlanır. İnşaat alanları az, atığın bertaraf maliyeti düşük, prosesin stabilize olması kolay, daha az işletme kontrolü, açığa çıkan gazların hava kirlenmesi ve insan sağlığı açısından oluşacak tehditlerin en aza indirilmesi ve kontrolü, köpük sorununun olmaması, biyolojik olarak parçalanamayan maddelerin parçalanması ve mevsimsel değişikliklerden etkilenmemesi, anaerobik arıtmaya avantaj sağlar. Aynı zamanda anaerobik arıtma, biyokütlenin gelişimini tamamlaması için uzun sürelere ihtiyaç duyulması, yoğun şekilde sülfat içeren atıksularda kötü kokuların oluşmasına sebebiyet vermesi, nitrifikasyon olayının gerçekleşmesinin olanaksız olması, metan üreten bakterilerin toksik maddelere ve çevre şartlarına karşı aşırı hassas olması, ve biyokütlenin en iyi koşullarda çalışabilmesi için gerekli besi maddesi olan azotun daha fazla olması gibi dezavantajlara da sahiptir. Metanojenlerin yaşayabildiği pH aralığı 6,5-8,0 arasındadır. Bu nedenle sistemde sürekli olarak pH kontrolü yapılmalıdır. KOİ değeri olarak ise 1000 mg/l'ten daha yüksek olan atıksularda daha fazla verim sağlanır [3]. Tablo 2.1'de aerobik ve anaerobik biyolojik arıtma sistemleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.1: Aerobik ve anaerobik arıtma karşılaştırılması [4].

	Aerobik	Anaerobik
Çalışma prensibi	Oksijen varlığında gerçekleşir.	Oksijensiz ortamda gerçekleşir.
Reaksiyon hızı	Hızlı	Yavaş
Çamur oluşumu	Yüksek	Düşük
Yatırım maliyeti	Yüksek	Düşük
KOİ değerleri	KOİ<1000 mg/l	KOİ>1000 mg/l
Organik yük içeriği ve Hızı	Düşük ve orta 0.5-3.2 kg KOİ/m ³ .gün	Orta ve yüksek 3.2-32 kg KOİ/m ³ .gün
Atıksu özelliği	Biyolojik parçalanması zor.	Biyolojik parçalanması kolay.
Net enerji	10.4 x 10 ⁶ kJ/gün	-1.9 x 10 ⁶ kJ/gün
Arıtma sonrası durum	Doğrudan deşarj veya filtrasyon/dezenfeksiyon	Aerobik arıtım
Son ürünler	Karbondioksit, biyokütle ve su.	Karbondioksit, metan ve fazla biyokütle.

2.2. ATIKSU ARITMA YÖNTEMLERİ

Atıksu arıtma, evsel veya endüstriyel atıksuların deşarj edildiği ortamdaki flora ve faunayı kötü yönde etkilememesi nedeniyle fiziksel, kimyasal, biyolojik veya ileri biyolojik yöntemler ile arıtılmasını kapsar. Atıksu arıtma için rehber alınan yönetmelikler şu şekildedir; Su Ürünleri Kanunu, Umumi Hıfzısıhha Kanunu, Gayrisihhi Muesseseler Kanunu, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği., İSKİ Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği'dir.

Evsel atıksular askıda, kolloidal, çözülmüş organik veya inorganik maddeleri içerir. Kirletici konsantrasyonları, kişi başına günlük kullanılan su miktarına, o bölgede yaşayan insanların sosyal, ekonomik ve kültürel özelliklerine, mevsimlere, yıllara hatta saatlere bağlı olarak bile değişebilir. Bu kirletici konsantrasyonlar zayıf, orta ve kuvvetli olarak üçe ayrılırlar.

Endüstriyel atıksular ise, endüstri türüne göre (yiyecek, içecek, tekstil, kimya vs.) değişiklik gösterebilir. Aynı tür ürün üreten endüstrilerde bile kullanılan hammadde veya proseslerin farklılığı, endüstrinin bulunduğu konum vs. göre değişiklik gösterilebilir [5]. Tablo 2.2’de Kimyasal arıtma teknolojileri gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Kimyasal Arıtma Teknolojileri [6]

Arıtma Metodu	Atık Tipi	İşletme Şekli	Arıtım Derecesi	Yorum
İyon Değişimi	Kaplama, nükleer	Reçine rejenerasyonlu sürekli filtrasyon	Demineralize su ve ürün geri kazanımı	Rejenerantta nötralizasyon ve katı madde giderimi
İndirgemeve Çöktürme	Kaplama,Ağır Metal	Kesikli veya sürekli arıtım	Askıda koloidal maddelerin tam giderimi	Kesikli arıtma için 1 günlük kapasite; Sürekli arıtma için 3saat kalma zamanı; Çamur uzaklaştırma veya susuzlaştırma gerekebilir.
Koagülasyon	Karton, Refineri, Kauçuk,Boya,Tekstil	Kesikli veya Sürekli arıtım	Askıda koloidal maddelerin tam giderimi	Flokülasyon ve çöktürme tankı veya çamur (blanket) yatağı; pH kontrolügerekebilir.
Adsorpsiyon	Toksik ve Organikler, Zor ayrışan bileşikler	Toz karbonlu granüle kolon	Birçok organikte tam arıtım	Toz karbon aktif çamur prosesinde kullanılır
Kimyasal Oksidasyon	Toksik ve Zor Ayrışan Bileşikler	Kesikli veya sürekli ozon veya katalizlenmiş hidrojen peroksit	Kısmi veya tam oksidasyon	Organiklerin daha çok biyolojik parçalanabilir olması için kısmi oksidasyon

Tablo 2.2.1’de Biyolojik arıtma teknolojileri gösterilmiştir.

Tablo 2.2.1: Biyolojik Arıtma Teknolojileri [6]

Arıtma Metodu	İşletme Şekli	Arıtım Derecesi	Alan Gereksinimi	Ekipmanlar
Stabilizasyon Havuzları	Aralıklı veya sürekli deşarj; fakültatif veya anaerobik	Aralıklı	Kazılı toprak; 10-60 gün kalma zamanı	-
Havalandırılmalı Lagünler	Tam karışımli veya fakültatif sürekli havuzlar	Yazın yüksek; kışın düşük verim	Toprak havuz, 2.44-4.88m derinlik; 8.55-17.1 m ² /m ³ .g	Sabit veya yüzen yüzey havalandırıcılar, veya difüzörler
Aktif çamur	Tam karışım veya tampon akışlı; çamur geri devirli	%90 organik giderimi	Toprak veya beton havuz; 3.66-6.1m derinlik; 0.561-2.62 m ² /m ³ .g	Difüzörlü veya mekanik havalandırıcılar; çamur ayırma ve geri devir için çöktürme
Damlatılmalı filtre	Sürekli uygulama; çıkış geri devri gerekebilir	Yüklemeye bağlı olarak kesikli veya yüksek	5.52-34.4 m ² / m ³ .g	6.1-12.19 m'ye kadar plastik dolgu
Döner biyodisk	Çok kademeli sürekli	Aralıklı veya yüksek	-	Plastik diskler
Anaerobik reaktörler	Geri devirli tam karışım; yukarı veya aşağı akışlı filtre, akışkan yatak; yukarı akışlı çamur yatağı	Aralıklı	-	Gaz toplama, ön arıtım gerekebilir

2.3. ANAEROBİK MİKROBİYOLOJOSİ

4.1. BİYOLOJİK ARITMA

2.3.1. Biyolojik Arıtma Sistemleri

Organik kirleticilerin giderimin de kullanılan en etkin yöntem olan biyolojik arıtmada amaç askıda veya çözünmüş halde bulunan organik kirleticilerin bakteriler yardımıyla pıhtılaştırılarak floklar halinde parçalanması ve açığa çıkan inorganik maddelerin gaz olarak havaya karışmasıdır. Temel amaç ise doğadaki reaksiyonların optimum şartlar ve çevre koşullarında daha hızlı hale getirilerek biyoflokülasyon ve mineralizasyon proseslerine bağlı olarak tekrarlanmasıdır. Mikroorganizmaların durumuna göre askıda veya biyofilm prosesleri olarak sınıflandırılan biyolojik arıtma, ortamda bulunan oksijene bağlı olarak aerobik veya anaerobik olarak sınıflandırılır. Evsel atıksuda organik maddelerin yanında azot, fosfor ve iz maddelerin giderimi de sağlanır.

2.3.1.2. Biyolojik Arıtmada Mikroorganizmaların Rolü

Mikroorganizmalar, askıda veya çözünmüş olan karbonlu maddeleri çeşitli gazlara ve yeni hücrelere dönüştürerek kullanırken, hücre dokusunun özgül ağırlığı sudan fazla olduğu için atıksudan çökerek ayrılır. Mikroorganizmalar BOİ ve KOİ cinsinden ölçüldükleri için kirliliğe neden olurlar ve atıksudan ayrılmadıkları sürece arıtım gerçekleşmiş olmaz.

2.3.1.3. Mikroorganizma Çoğalmasında Besi Maddesi İhtiyacı

Mikroorganizmalar, üremelerini ve hayati fonksiyonlarını devam ettirmek için, enerji kaynağına, organik besin maddelerine (karbon, yeni hücre sentezi için), inorganik elementlere (azot, fosfor, sülfür, potasyum, kalsiyum ve magnezyum vs.) ihtiyaç duyarlar. Karbon ve enerji kaynaklarına substrat adı verilir.

2.3.1.4. Karbon ve Enerji Kaynakları

Mikroorganizmaların karbon kaynakları organik maddeler ve CO₂'dir. Hücre dokusu oluştururken organik karbon kullanan organizmalar heterotrof, enerji girdisi gerektiren karbondioksiti kullananlar ise ototrof olarak isimlendirilir ve daha çok enerji harcadıkları için büyüme hızları daha yavaştır. Yeni hücre sentezinde gerekli olan enerji, ışık veya oksidasyon

kullanılarak sağlanır. Işığın enerji kaynağı olarak gören fototrof organizmalar ve kimyasal reaksiyonları enerji kaynağı olarak kullanan kemototrof organizmalar heterotrofik veya ototrofik olabilirler.

2.3.1.5. Nütrient ve İz Element İhtiyacı

Mikroorganizmalar N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na ve Cl gibi besin maddelerine ihtiyaç duyarlar. İkincil olarak ihtiyaç duyulan besin maddeleri ise; Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni, V ve W'dir. Temel büyüme faktörleri üç temel grupta sınıflandırılabilirler: aminoasitler, purinler ve pirimidinler, vitaminler olmak üzere üç temel büyüme faktörleri grubu vardır.

2.3.1.6. Biyolojik Arıtmada Önemli Mikroorganizmalar

Mikroorganizmalar, hücre yapıları ve fonksiyonlarına göre Eucaryotes, Eubacteria ve Archaeobacteria olarak sınıflandırılırlar: Kısaca bakteri olarak bahsedilen eubacteria ve archaeobacteria (prokaryotik) arıtmada çok önemlidir. Eucaryotes (ökaryotik) ise bitki, hayvan ve protistleri içerir.

Bakteri

Arıtma ünitelerinde çokça bulunan, azot, fosfor ve kükürt bileşiklerinin gideriminde kullanılan bakteriler tek hücreli prokaryotik canlılardır. Hücrelerin büyüklüğüne (0,5-3 µm) ve şekillerine göre isimlendirilirler. Bakterilerin hücre kompozisyonunun %80'inin su ve %20'sinin kuru maddeden (%90 organik, %10 inorganik) meydana geldiği bulunmuştur.[7]

Bakteri Büyümesi

Kesikli beslenen reaktörde 4 adımda gerçekleşir;

Gecikme fazı (lag-phase): yeni bir ortama bırakılan organizmaların ortama uyum sağlamaya çalıştığı evredir. Bu evrede, hücre sayısında artış olmaz fakat kütlede artış olabilir ve bakteriler çoğalmak için kendini hazırlar. Ortamın sıcaklığı, besin maddelerinin kolay çözünmemesi ve bakterilerin aktifliğine de bağlı olarak lag fazı kısa tutulabilir.

Logaritmik büyüme dönemi: Ortama uyum sağlayan organizmalar, bu dönemde maksimum hızla büyürler. Ortamda besin maddesi bol olurken büyümeyi engelleyici durumlar yoktur. Hücre sayısındaki artış ile hücre kütledeki artış hemen hemen benzerdir.

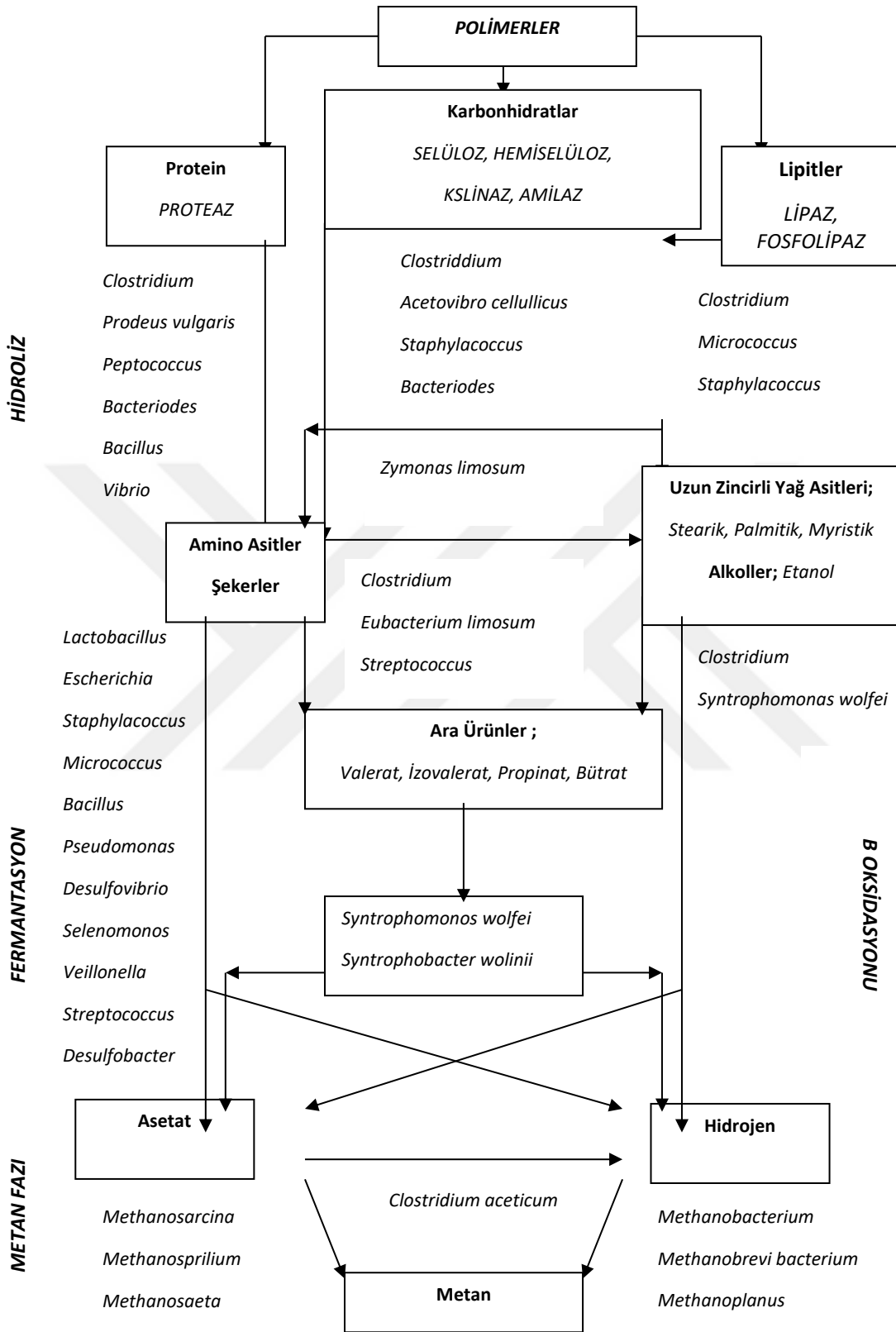
Kararlı büyüme dönemi: besin maddelerinin gittikçe azalması sebebiyle yeni hücre oluşumları yavaşlamış, bölünme durmuş ve canlı hücreler ile ölü hücreler eşitlenmeye başlamıştır.

Ölüm dönemi: Bu dönemde bakterilerin ölüm hızı arttığı için, hücre konsantrasyonunda azalmalar meydana gelir. Bu evrede lizis (lysis-hücrenin ölümü) yani hücre zarlarında meydana gelen parçalanma (hidrolitik ile lipolitik enzimleri yardımıyla) gözlenir [8].

2.4. ANAEROBİK MİKROBİYOLOJİ

Kompleks yapıdaki organik maddelerin (karbonhidratlar, proteinler ve yağlar) son ürünlere (metan, hidrojen ve karbondioksit) dönüşümü prosesinde çok sayıda mikroorganizmanın simbiyotik ilişkisi rol alır. Bazı kaynaklarda asit fazı asidojenesis ve asetojenesis safhası olarak ayrı verilse de bu süreç genel anlamda üç aşamada gerçekleşir [9]. Bunlar hidroliz, asit fazı ve metan fazıdır. Aynı zamanda iki ana grupta meydana gelir. Bu iki ana grup ise asit bakterileri ve metan bakterileridir. Asit bakterileri butirik ve propiyonik asit üretenler ve asetik asit üretenler olarak ikiye ayrılırken, metan bakterileri asetik asit kullananlar ve hidrojen kullananlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Özetle üç safha;

1. Yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözünmüş organik maddelerin hidrolize edilmesi
 2. Hidrolize edilen organik maddelerin asit bakterileri tarafından uçucu yağ asitleri ve daha sonra asetik aside dönüştürülmesi
 3. Asetik asit, H₂ ve CO₂'den sonra metan üretimi şeklindedir [10].
- Şekil 2.4'te Anaerobik arıtma sürecinde karmaşık organik maddenin giderimi gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Anaerobik arıtma sürecinde kompleks organik maddenin giderimi [2].

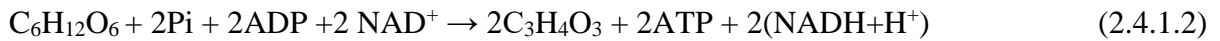
2.4.1. ANAEROBİK ARITMANIN BASAMAKLARI

2.4.1.1. Hidroliz

Karbondioksit, yağlar ve proteinler gibi organik polimerlerin, hücre dışı enzimler (selüloz, proteaz ve lipaz) yardımıyla organik monomere dönüşmesi aşamasını kapsar. Hidroliz safhasının hızını etkileyen faktörler ortamın pH'ı, sıcaklığı, çamur yaşı ve temel olarak hidrolik bekletme süresidir [11]. Bu safha yavaş parçalanabilen veya hemen hemen hiç hidroliz olamayan organik maddelerin (lignin ve selüloz içeren) arıtımı haricinde, anaerobik arıtma için hız sınırlayıcı değildir. Lipitlerin hidrolizi yavaş olduğu için anaerobik arıtmada hidroliz safhası sınırlayıcı bir faktör olabilmektedir [2].

2.4.1.2. Asit Fazı

Asidojenesis aşamasında aminoasitleri şekerler ve uzun zincirli yağ asitlerinin asit üreten bakteriler tarafından karbondioksit, asetat ve hidrojene fermantasyonu aşamasını kapsar. Asit bakterileri iki grup olarak meydana gelirler. Bunlardan ilki; asidojenler veya fermentatif bakteriler olarak adlandırılır ve aminoasit ve şekerleri, asetat ve hidrojene çevirirler. Sıcaklık, ortam pH'sı ve besi maddelerine bağlı olarak görev alırlar. Şekerin pirüvata EMP (Embden Meyerhof-Parnas) yoluyla dönüşümü bütirik asit fermentasyonunu başlatır. Stokiyometrik denklem ise denklem (2.4.1.2)'de gösterilmiştir;



şeklindedir.

Biyosentez reaksiyonlarında, reaksiyonun başlangıç malzemesi olarak kullanılacak olan karbon iskeletini oluşturan ve enerji kaynağı olarak kullanılan EMP, substrat yollarıyla depolanan enerji elde biçimine, substrat seviyesinde fosforilasyon denir. Asetokinaz enzimi bir mol ATP ile asetil fosfatı asetata, dönüştürürken, bir mol glikoz, prüvatin bozunması sonucu iki mol asetat ile iki mol karbondioksit ve hidrojen oluşur. Dengeli işletme koşulları altında prüvattan oluşturulmasını tercih ettiği asetat oluşumu sırasında açığa çıkan hidrojen metanojenik bakteriler tarafından hızlıca tüketilmektedir. Dengesiz işletme koşullarında ise hidrojenin birikmesine sebep olur ve böylece bütirik ve propiyonik oluşumu meydana gelir.

İkinci grup ise; zorunlu hidrojen üreten bakteriler olarak adlandırılır. Propiyonat, bütirat ve daha yüksek zincirli yağ asitlerinden β -oksidasyonu ile asetik, karbondioksit ve hidrojen üretirler. Reaksiyon tüm yağ asitlerinin hepsi asetata dönüşüncüye kadar devam eder. Hidrojen üreten ve zorunlu hidrojen üreten bakteriler arasındaki sintrofik ilişki sayesinde aşırı hidrojen birikimi engellenmiş olur. Homoasetojenler ve metanojenler elektron alıcısı olarak CO_2 'yi kullanırlar. Elektron vericisi olarak ise H_2 , C bileşikleri, şekerler, organik asitler, alkoller, amino asitler ve azotu kullanırlar. Asetojenesis, substrat yoluyla fosforilasyon yoluyla enerji korunumunu sağlar [2]. Tablo 2.4.1.2'de Asidojenesis Safhası gösterilmiştir.

Tablo 2.4.1.2. Asidojenesis Aşaması.

Asidojenesis		
Görev Alan Gruplar	Birinci Grup (asidojenler veya fermentatif bakteriler)	İkinci Grup (asetojenesis bakteriler)
Aşama	Aminoasit ve Şekerleri; Asetat ve Hidrojene çevirirler.	Propiyonat, Bütirat ve daha yüksek zincirli Yağ Asitlerini (β -oksidasyonu süreci); Asetik Asit, Karbondioksit ve Hidrojene çevirirler.

2.4.1.3. Metan Fazı

Metan üretimi fazı yavaş bir süreçte gerçekleştiği için anaerobik arıtmada hız sınırlayıcı fazdır. Bu fazda görev alan bakteriler asit bakterileri ve metan bakterileri olarak adlandırılır. Metanın yaklaşık %30'u H_2 ve CO_2 'den, %70'i ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır [11]. Metan oluşumu sırasında, elektron vericisi olarak hidrojen, elektron alıcısı olarak karbondioksit kullanılır. Metan oluşum hızı, organik asit ve hidrojen oluşum hızına göre daha yavaş gerçekleşir. Nedeni ise, en başta meydana gelen serbest enerjinin, metan gazı oluşumundan fazla olmasıdır. Metanojenler düşük çoğalma hızına sahip, hız sınırlayıcı bakterilerdir. Metanojenler besin maddesi olarak H_2 , CO_2 , format, metanol ve metilamin kullanırlar [12]. Tablo 2.4.1.3.'de Temel metanojenik reaksiyonlar ve serbest enerji değişimi gösterilmiştir.

Tablo 2.4.1.3: Temel metanojenik reaksiyonlar ve serbest enerji değişimi [2].

Reaksiyon	ΔG^0 (kJ/CH ₄) “pH = 7”
$\text{HCOO}^- + 3\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-134.3
$4\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$	-185.1
$4\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-102.5
$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	-121.1
$4\text{CH}_3\text{NH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 4\text{NH}_4^+$	-101.6
$2(\text{CH}_3)_2\text{NH} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+ \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{NH}_4^+$	-86.3
$4(\text{CH}_3)_3\text{N} + 6\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ \rightarrow 9\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 4\text{NH}_4^+$	-80.2
$2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-N}(\text{CH}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$	-70.0
$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^-$	-28.2
$4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-139.2
$4\text{HCOO}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow 2\text{H}_2\text{CO}_3^- + \text{CO}_2$	-126.8

Tablo 2.4.1.4’de Mezofilik fazda metanojenlerin kinetik katsayıları gösterilmiştir.

Tablo 2.1.1.4.: Mezofilik fazda metanojenlerin kinetik katsayıları [2].

Substrat	Türler	Kinetik Katsayılar			Referans
		K _s ^a	Y ^b	μ _{max} ^c	
Asetat	Methanosaeta sohngeni	0.4-0.6	0.023	0.11	[13]
	Methanosarcina barkeri	4-5	0.024	0.21	[14]
	Methanobacterium spp.	0.17	0.01	0.26	[15]
	Methanococcus mazei	-	-	0.53	[16]
H ₂ /CO ₂	Methanospirillum hungatei	0.002	0.021	0.05	[17]
	Methanobrevibacter smithii	0.001	0.045	4.02	[18]
	Methanobacterium formicum	0.002	0.051	0.29	[19]
	Methanosarcina barkeri	-	0.087	3.02	[20]

a: mg KOİ/l , b: mg UAKM/mg KOİ , c: gün⁻¹

2.5. ANAEROBİK ARITIMDA ETKİLİ OLAN PARAMETRELER VE İŞLETİLMESİ KONTROLÜ

pH, alkalinite, sıcaklık, Amonyak inhibisyonu, Sülfür, Toksik maddeler, Nutrientler, Uçucu Yağ Asitler (UYA) Gaz üretimi ve metan oluşumu, Hidrolik Bekletme Süresi (HBS), Çamur Yaşı (ÇAY), Organik Yükleme Hızı (OYH) ve substrat kontrolüdür. Tablo 2.5’de Anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevre şartları gösterilmiştir.

Tablo 2.5: Anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevre şartları [21].

Parametre	Optimum Şartlar
KOİ/N/P	300/5/1
pH	6,5-8,2
Sıcaklık	25-40°C—50-60°C
Alkalinite	1000-4000 mg/lCaCO ₃
TUYA	<1000-1500 mg/l
TUYA/Alkalinite	<0,1

2.5.1. SICAKLIK

Anaerobik arıtmada iki tür sıcaklık söz konusudur. İlk aşamada mezofilik sıcaklık (25-40 °C), ikinci aşamada ise termofilik sıcaklık (50-60 °C)’dir. Metan gazı oluşumu sıcaklıkla doğru orantılı olarak artar. Genel olarak mezofilik sıcaklıktaki reaktörler 35°C’de, termofilik sıcaklıktaki reaktörler ise 55 °C’de çalıştırılır. Sıcaklığın aniden arttığı durumlarda mikroorganizmaların adaptasyonu bozulacağı için inhibe olurlar. Bu sebeple sıcaklık optimum seviyede tutulmalıdır. Tablo 2.5.1’de Havasız çamur yataklı sistemlerde tasarım yükünün sıcaklık ile değişimi.

Tablo 2.5.1: Havasız çamur yataklı sistemlerde tasarım yükünün sıcaklık ile değişimi [21].

Sıcaklık (°C)	Tasarım Yüğü (kgKOİ/m ³ -gün)
40	15-25
30	10-15
20	5-10
15	2-5
10	1-3

2.5.2. pH

Metan bakterileri hassas oldukları için, optimum pH aralığı 6,5 – 8,5'dur. Sistemin çalışma performansı pH düştüğünde düşer ve daha sonra durur. Eğer pH>8 ise ortamda serbest NH₃ mevcut demektir. pH<5.5 ise ortamdaki metan ve asit bakterileri inhibisyona uğrar.

2.5.3. ALKALİNİTE

pH'ı nötral seviyede tutmak için gerekli olan alkalinite miktarı 1000 – 4000 mg/L arasındadır. Yüksek UYA üretim hızı ve pH'yı nötral tutmak için aradaki stabiliteyi sağlamak adına bikarbonat alkalinitesi, 2.5-5 g/l arasındaki tutulmalıdır. OYH düşürülerek veya alkalinite desteği sağlanarak atıksuda yeterli seviyede alkalinite olması sağlanabilir. Üretilen alkaliniteyi tespit etmek için, organik asit tuzları, indirgenmiş sülfat veya sülfid ölçülmelidir [2].

2.5.4. BESİ MADDESİ İHTİYACI (KOİ/N/P)

Anaerobik prosesler, aerobik proseslere göre daha az miktarda azot ve fosfora (sınırlayıcı temel elementler) ihtiyaç duyarlar. Her artırılan 1000 kg Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) için makro besin maddesi ihtiyacı yaklaşık olarak azot için 6-10 kg azot ve 1-2 kg fosfordur (bu miktarlar atığın karakterine bağlıdır). Bir çok araştırmacı kükürt kaynağı olarak sülfid konsantrasyon aralığını CH₄'a dönüşen Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)'ye (1-50 g/l) bağlı olarak 25-280 mg/l arasında bulmuşlardır[2]. Amonyak konsantrasyonu reaktör çıkışına nazaran girişte daha azdır. Ortama alkalinite, azot ve fosfor sağlamak için iz elementler (Fe, Co, Ni, Mo, Se, Ca, Mg) ilave edilir. Metanojenler ise çok pahalı olan ağır metallere de ihtiyaç duyarlar. Biyokütle

oluşumunun hızlı olduğu işletmeye alma dönemlerinde KOİ/N/P oranı 300/5/1~500/5/1 aralığında tutulur. Kararlı işletme hallerinde ise 700/5/1 oranı uygulanabilir. Tablo 2.5.4'de Havasız çamur yataklı sistemlerde tasarım yükünün sıcaklık ile değişimi.

Tablo 2.5.4: Optimum KOİ/N/P.

	Y (gUAKM/gKOİ giderilen)	Optimum KOİ/N/P
Asetik asit	0,038	1420/6,7/1
Propiyonik asit	0,12	451/6,7/1
Bütirik asit	0,16	338/6,7/1
Uzun zincirli yağ asitleri	0,14	386/6,7/1
Karbonhidratlar	0,22	246/6,7/1
Yağlar	0,14	386/6,7/1
Proteinler	0,13	-

Y: biyolojik dönüşüm oranı

Ortam şartları optimum olduğu halde yeterli KOİ giderimi ve düşük uçucu asit seviyelerine ulaşamazsa, 0,1 mg/L iz elementlerinin ilavesi söz konusu olabilir. Daha fazlası ilave edildiğinde ortamdaki bakteriler için inhibe etkisi yaratması da kaçınılmazdır. Tablo 2.5.4.1'de Havasız çamur yataklı sistemlerde tasarım yükünün sıcaklık ile değişimi.

Tablo 2.5.4.1: Anaerobik arıtmada toksik etki yapan madde konsantrasyonları [22].

İnhibitör Maddeler	Eşik seviyesi (mg/l)
Sülfat (SO_4^{-2})	5000
Sodyum klorür ve genel tuzlar (NaCl)	40.000
Nitrat (N olarak hesaplanmış)	0.05
Bakır (Cu^{+2})	100
Krom (Cr^{+3})	200
Nikel (Ni^{+2})	200-500
Sodyum (Na^{+1})	3.500-5.500
Potasyum (K^{+1})	2.500-4.500
Kalsiyum (Ca^{+2})	2.500-4.500
Magnezyum (Mg^{+2})	1.000-1.500
Mangan (Mn^{+2})	1.500 üzeri

2.5.5. ÇAMUR YAŞI, HİDROLİK BEKLETME SÜRESİ VE ORGANİK YÜKLEME HIZI

Katı maddesi içeriği veya konsantrasyonu yüksek atıksuların arıtılması için çok uzun bekletme sürelerine ihtiyaç duyulur. Bu nedenle hidrolik bekletme süresini düşük tutup çamur yaşını yükselten tasarımlar kullanılır. Tek fazlı sistemlerde çamur yaşı, HBS'ye eşittir ancak çamur yaşı HBS'ye bağlı olsa da organik madde konsantrasyonuna bağlı değildir. Uzun zincirli yağ asitlerinin metana dönüşümü sınırlayıcı bir adımdır. Asidifikasyon aşaması içinde çamur yaşı ve HBS çok önemli yer tutar. Bakterilerin sistemde tutulabilmesi için gerekli olan çamur geri devri, reaktör girişindeki substrat girişini de düşürür. Çamur yaşının artması için biyofilm vs. yöntemi de kullanılır [2].

2.5.6. TOPLAM UÇUCU YAĞ ASİTLERİ

Uçucu yağ asitlerinin (asetik asit, propiyonik asit ve bütirik asit) toksik etkileri fazladır. Propiyonik asitin inhibitör etkisi sadece 1000 ppm'den nispeten daha yüksek konsantrasyonlarda gösterilmiştir. Asetat ise daha düşük toksik etkiye sebep olur.

Stabiliteyi sağlamak için UYA <1000-1500 mg/lt arasında tutulmalıdır. UYA/Alkalinite ise <0,1 olmalıdır.

2.6. ANAEROBİK REAKTÖR TİPLERİ

Anaerobik arıtma sistemlerinin verimini artırmak için yeni alternatifler bulunmuştur. Amaç ise biyokütle miktarını ve bekletme sürelerini artırmaktır. Metanojenesis safhası, anaerobik arıtma için oldukça önemli ve hassas bir bölüm olduğu için genellikle sistemler kurulurken önem taşıyan bir etken olmuştur[9].

2.6.1. ASKIDA ÇOĞALAN SİSTEMLER

2.6.1.A. Anaerobik Tam Karışımli Reaktörler

Konvansiyonel sistemlerde geri devir olmadan biyokütlenin anaerobik reaktörden geçtiği en basit tasarımdır. Yüksek organik madde içeriği ve yüksek partiküler madde içeren atıksular için yaygın kullanılan bir sistemdir. Sistemde anaerobik mikroorganizmaların çamur yaşı ve bekletme süresi eşittir.

Metanojenlerin büyüme hızının yavaş olması sebebiyle stabilizasyon seviyesi düşük çamur yaşı ve bu düşük çamur yaşını devam ettirmek içinde büyük hacimlerde çalışılmalıdır. Bu sebeple yükleme hızları düşük olmaktadır (1-10 kgKOİ/m³-gün) [2]. Yeterli karışımında pH, sıcaklık ve besi maddeleri kontrol edilerek sistemde bulunan ölü hacmin en aza indirilmesi sağlanır.

2.6.1.B. Anaerobik Kontakt Prosesler

Anaerobik kontakt prosesler çamur geri devri, çöktürme tankı ve tam karışımdan oluşur. Daha uzun olan çamur yaşı, geri devir ve hidrolik bekletme süresinden bağımsız bir şekilde kontrol altında tutulur. Bu sebeple daha küçük reaktör hacmi ve daha kısa bekletme süresinde çalışılarak daha yüksek bir verim sağlanabilir. OLR 0.5-10 kgKOİ/m³-gün ve HBS ise 0,5-5 gündür.

2.6.1.C. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörleri

Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörlerinde atıksu süspansiyon halde bir çamur yatağı içerisinde geçirilerek arıtma sağlanır. Biyokütle, 1-5 mm floklar halinde bulunur. Reaktörün üst kısmı sıvı-gaz ayırımını sağlayan biçimde tasarlanmıştır. Bu sayede oluşan gaz toplanır ve çamur geri devri sağlanmış olur. Karışım sağlanmasındaki amaç ise oluşan gaz ile biyokütlenin temasını sağlamaktır. Kısa bekletme süresi ile yüksek arıtma verimi ve daha düşük enerji ihtiyacı sağlanabilir. Dezavantajı ise çamurun kontrol edilmesidir.

2.6.2. BİYOFİLM SİSTEMLER

Biyofilm sistemlerinde biyokütlenin seçilen bir dolgu malzemesi üzerinde tutunarak ile besi maddesinin temasının sağlanmasına dayanır. İki tip reaktör vardır. Bunlar;

2.6.2.1. Sabit Yataklı Prosesler

Sabit yataklı prosesler, yüksek biyokütle konsantrasyonunu oluşturmak için kullanılan inert bir filtre yatağından oluşur. Atıksu inert filtrenin içerisinde geçerken atıksu içerisinde biyokütleyle tutunmuş ve çözünmüş halde bulunan organik bileşikler, metan ve karbondioksit gibi nihai son ürünlere dönüştürülür. Proses $KOİ < 1000$ mg/lt ve $KOİ > 20000$ g/lt ye sahip endüstriyel atıksuların arıtılmasında kullanılabilir [2]. Dezavantajları ise ölü bölge yaratmaları ve katı maddelerin birikimine neden olmalarıdır.

2.6.2.1. Anaerobik Akışkan Yataklı Prosesler

Geri devir ve yukarı akışlı besleme temeline dayanan proseste biyokütle düşük ağırlıktaki partiküllerin yüzeylerine tutunur. Partikül çapı 0,45-7 mm'dir. Böylelikle biyolojik büyüme için geniş bir yüzey alanı sağlanmış olur ve partiküller bu yüzeylerde gelişebilir. Bu sayede biyofilmin çökme hızını artırması nedeniyle biyokütlenin reaktörde daha uzun süre kalması sağlanabilir.

2.6.3. HİBRİT SİSTEMLER

Anaerobik arıtmanın oluştuğu flok çamur yatağının içinden sisteme giren atıksu, yukarı doğru akar ve reaktör kesitleri boyunca geçerek dağılır. Çamur yatağı kısmından çıktuktan sonra gaz-sıvı-katı ayırımının oluşturduğu dolgu malzemesinin içine girer ardından arıtılan atıksu reaktörden deşarj edilir ve toplanır. Proseste askıda biyokütle kullanılır ve çamur ayırma ve gaz toplama ekipmanlarına ihtiyaç duyulmaz. Tablo 2.6.3’de Hibrit yukarı akışlı çamur yatağı ve anaerobik filtre’nin avantaj-dezavantajları karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.6.3: Hibrit yukarı akışlı çamur yatağı ve anaerobik filtrenin avantaj-dezavantajları.

Avantaj	Dezavantaj
Yüksek biyokütle konsantrasyonu	Proses kontrolü az
Uzun çamur yaşı	Düşük proses yükü
Yüksek organik yükleme hızı	Düşük hidrolik bekleme süresi
Küçük reaktör hacmi	İnhibitörün seyrelmesi zor
Yüksek verimli atıksu çıkışı	İnhibitörün dengelenmesi zor
Dolgu malzemesi maliyeti düşük	
Basit mekanik ekipmanlar	

2.6.3.1. İki Fazlı Sistemler

İki fazlı sistemlerde temel olarak iki farklı mikroorganizma grubunun farklı aktivitelerinin olması esasına dayanır. Metanojenik aktivite hızı düşük, asidifikasyon ve hidroliz fazları ise büyük bir hızla oluşur. Yüksek hızla çalıştırıldığına metanajonesis fazı engellenmiş olur. İkinci aşamada ise metanojenler, asetojenlere paralel olarak çalışırlar. Bu bakteriler daha yavaş büyürler ve bozunurlar. Dezavantaj olarak ise çevre şartlarından oldukça etkilenirler. Metanojenik ve asidojenik fazların ayrılması ile arıtma verimi ekonomik, enerji üretimi yüksek olur. İki Fazlı Sistemlerin avantajları ise; İşletmeye alınması kolay, proses stabilitesi hızlı, proses verimi yüksek, katı dönüşümleri iyi, gaz kalitesi yüksek, patojen giderimi yüksek, renk giderimi yüksek, işletme ve yatırım maliyeti düşük, organik yükleme hızı yüksek, çamur içeriği yüksektir. Tablo 2.6.3.1.’de Çokça kullanılan anaerobik arıtma sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 2.6.3.1.: Anaerobik arıtma sistemlerinin karşılaştırılması [7].

Karakteristik Özellik	Çamur Yatağı	Filtre	Akışkan Yataklı
İşletmeye alma	1	1	1
Çamur gelişimi	3	2	3
Sıvı fazın karışması	1	2-3	3
Hidrolik şoklara karşı direnme	1	3	3
Organik şoklara karşı direnme	2	2	2
Askıda katı maddelere duyarsızlık	1	2	3
Tıkanmaya karşı duyarsızlık	3	1	3
Biyokütlenin yüzme riski	1	2	2
Reaktörü kontrol etme ihtiyacı	2	2	1

1 yetersiz, 2 iyi, 3 çok iyi.

Proses Kontrolü ve İşletme Şartları

İki fazlı anaerobik sistemler, tek fazlı anaerobik sistemlerle işletme koşulları benzerlik gösterir. Ancak ön asitleştirme tankı için ek ihtiyaçlar da söz konusu olabilir.

Sıcaklık

Glikozun asidifikasyonu incelendiğinde 20-60°C sıcaklık aralığında HBS 8-10 saat aralığında ve pH 5.8 olarak belirlenmiştir. Optimum sıcaklık ise 37 °C (mezofilik) olarak, 52°C (termofilik) olarak bulunmuştur. Stabilizasyonu sağlamak için optimum sıcaklık olarak mezofilik sıcaklık önerilmiştir. Uçucu yağ asitlerinden n-bütirik asit incelenirken mezofilik şartlarda en yüksek, termofilik şartlarda ise hızla azalmıştır. CO₂ ve H₂ yüksek miktarda oluşurken, CH₄'e hiç rastlanmamıştır. Termofilik şartlarda etanol ve laktoz yüksek oranda tespit edilmiştir. Özetle mezofilik sıcaklıklardaki reaktörün, termofilik sıcaklıktaki reaktörden daha fazla verim sağladığı görülmüştür.

pH ve Alkalinite

Çözünmüş CO₂ iyon formundaki bikarbonat, ortamda pH 7 ve 8 de oldukça baskın olarak bulunmuştur. CO₂ basıncının artmasıyla gaz fazından sıvı faza dönüşür ve pH'nın azalmasına yol açar. Biyogaza dönüşüm sırasında pH kontrolü için fazla alkalinite eklenmesi gereklidir. Bir mol hidroksit açığa çıkması için, bir mol monoproitik asitin biyogaza dönüşmesi gereklidir. Glikozun asidifikasyonu için optimum pH 5.7-6 aralığında tutulmuş ve laktik asit ve formik asit, n-bütirik asit, etanol ve propiyonik asite göre daha az miktarda bulunmuştur. CO₂ ve H₂ gazları tespit edilmiştir.

Hidrolik bekletme süresi ve çamur bekletme süresi

Hidrolik bekletme süresi(HBS) ve çamur bekletme süresi (ÇBS) anaerobik reaktörlerin işletilmesinde önemli parametrelerdir. Düşük bekletme süreleri sağlanarak daha düşük hacimlerde işletim gerçekleştirilebilmektedir. Her bir m³ yüksek KOİ konsantrasyonuna (2500-15000 mg KOİ/L) sahip gıda endüstrisi atıksuyunun anaerobik biyomembran reaktörde arıtılması çalışmasında membran akısının azalmasına bağlı olarak reaktördeki ortalama HBS'nin arttığını gözlemlemiştir[23]. HBS'nin anaerobik biyomembran reaktörün verimine etkisi, 16-100 saat HBS ve 2.06±0.15 kg/m³/gün hacimsel yükleme oranı baz alınarak değerlendirilmiştir. HBS>50 saat olduğu durumlarda KOİ giderimi %82'nin üzerindedir. Bu sebeple, işletme periyodu süresince HBS 60saatin üzerinde tutulmuştur. Bu koşullarda çamur yaşı ise 50 gün kabul edilmiştir.

Besi Maddeleri, Toksikite

etanojen ve hidrojen gazları için besin ihtiyaçları tam anlamıyla anlaşılamamıştır. Azot eksikliği olan atıksular için substrat etkisi, karbonhidratlı atıksular için olan azot, fosfor ve kükürt ihtiyacı nedeniyle, hidrolitik ve asidojenik bakterilerin sentezinin artması sebebiyle altı kattan daha fazla olmakla birlikte önemli bir etkiye sahiptir. Katı atıkların iki fazlı anaerobik sistem arıtımı için geri devir yapılması sayesinde, dışarıdan besin maddesi ilavesine gerek yoktur. Glikozun asidifikasyonu için optimum şartlar, pH 5.8-6 aralığında ve sıcaklık ise 30°C'de bütirik asit asidifikasyonu inhibe olurken, asetik asit inhibe olmamıştır.

2.7. ANAEROBİK REAKTÖR TİPLERİ KULLANILARAK YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yüceer (2006)'nın yaptığı bir çalışmada Anaerobik Filtre Reaktörde 3000, 6000, 9000, 12000 ve 15000 KOİ değerlerine sahip sentetik atıksuların verimi, 25°C ve 35°C'de Stover-Kincannon modeli örnek alınarak incelenmiştir[24]. 25°C ve 35 °C'de sırasıyla; oluşan biyogaz miktarı %60 ve %66, KOİ giderim verimleri ilk yüklemde % 85 ve %90 iken son yüklemde %74 ve %70'e düşmüştür. Cimochowicz-Rybicka 'nın anaerobik krom efektini araştırdığı bir çalışmada atıksu arıtma tesisinden çıkan anaerobik çamurun sindirilmesi esnasında Cr^{3+} 'ün inhibe edici etkisi olması ve reaksiyon hızında azalma nedeniyle gaz üretiminde farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir[25]. Cr^{3+} 'ün metanojenezin üzerinde inhibe edici etkisi olduğu kesinleşmiştir. Bu test yöntemi, bir metanogenezin çeşitli ağır metaller tarafından inhibe olma ihtimalinin incelenmesi, belediye atık su arıtma tesislerinde ısıtılmış sindiricilerin boyutlandırılmasında, elde edilen numunelerdeki metanojenik işlemin uygun seyrini kanıtlamada kullanılabilir. Şentürk ve Büyükgüngör yaptıkları çalışmada gelecek zamanların en önemli enerji taşıyıcısı olarak kabul gören hidrojenin anaerobik fermantasyonla biyolojik yoldan elde edilmesinde pH, sıcaklık, substrat, reaktörde biriken H_2 'nin kısmi basıncı, fermantasyon işlemi sonunda oluşan son ürünler, reaktör içerisinde bulunan azot ve fosfor miktarı, metal içerikleri, HRT, kullanılacak enzimler ve meydana gelen H_2 verimi etki etmektedir[26]. Yapılan bu çalışmanın amacı en uygun çalışma koşullarını araştırmaktır ve sonuç olarak biyolojik hidrojen üretimi, karanlık fermantasyon üretimi, enerji verimliliği ve temiz enerji üretimi açısından avantajlı olduğu görülmektedir. Bharathiraja vd., yaptığı derleme çalışmada, biyogaz üretimi ile ilgili yapılan araştırmalar sunulmuş ve anaerobik arıtma sürecinin tüm dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan çeşitli hammaddeleri analiz etmek amacıyla sürdürülebilir bir çevrede üretmek için daha fazla araştırma yaparak çalışma işlemlerini ve olumsuz yönlerini ortaya koymak amaç edinilmiştir[27]. Birçok biyogaz üretim çalışması olmasına rağmen haşa araştırılması gereken birtakım boşluklar olduğu görülmüştür. Gupta ve Gupta'ın yaptığı bir çalışmada farklı doğal kaynaklardan izole edilen türler yani inek gübresi, çeltik tarlası toprağı, termitler ve maden suları kullanılmış ve metan üretimine bakılmıştır[28]. Optimum şartlarda metan üretimi, katı sıvı oranı, pH, partikül boyutu ve sıcaklığı sırasıyla %92,6, 1:10, 7,0-7,5, $60 \pm 25 \mu m$ ve 35°C'dir. Daha iyi metan üretimi için en iyi yol hidrokarbonlar, benzen, tolüen, etil benzen, ksilen vs.'nin kimyasal olarak NaOH/KOH

kullanılarak daha sonrasında organik asitler veya bu asitlerin tuzları eklenerek bakteriyel olarak indirgenesidir. Kasarcı, çalışmasında kent gıda, biyometan, biyohidrojen ve içki anaerobik aşuları kullanılarak, aşı/substrat oranı stabil tutulup, farklı katı madde oranlarında ve farklı büyükbaş hayvan ve yemekhane atığı karışımından belirli oranlar kullanılıp sistemin performansı ve aşı/substrat oranı belirlenmiştir[29]. Çalışma sonucunda iki kademeli olarak işletilen sistemin, tek kademeli olarak işletilen sisteme kıyasla daha iyi ve yüksek verimde çalıştığı söylenebilir. İki kademeli sistemde hidrojen ve metan üretimi sırasıyla ton başına, uçucu katı madde başına 88 m³ ve 520 m³'tür. Diamantis ve Aivasidis, çalışmasında iki aşamalı laboratuvar ölçekli UASB reaktörünü, 37° C'de, 3000 mg/l KOİ'ye sahip olan biyolojik parçalanabilirliği kolay bir gıda atıksuyu ile çalıştırmış ve iki aşamalı UASB tasarımının tek aşamalı UASB tasarımına kıyasla %95'den fazla KOİ giderimi sağladığı görülmüştür[30]. Diğer önemli nokta ise reaktörde yüksek miktarda biyokütle tutulabilir ve bu sayede verimlilik oranı yükselmiş olur. Salem, bu çalışmada patates ve fasulye atıkları olarak iki farklı substrat kullanılarak, alkalın, asit ve hidrojen peroksit içeren ön işlemlerin, sürekli şekilde hidrojen ve metan üretimi üzerine etkileri incelenmiş ve bu üç ön arıtma metodu H₂ ve CH₄ üretimi üzerinde artırıcı etkiye sahip olduğu, toplam enerji veriminin ise iki aşamalı fermantasyon sisteminin birleştirilmesiyle arttığı gözlemlenmiştir[31]. Öktem, yaptığı çalışmada ilaç sanayi kimyasal sentez atıksuyunun tek fazlı ve iki fazlı anaerobik sistemde artırılarak sistemlerin performanslarını ve mikrobiyolojilerini kinetik ve spesifik metan üretim hızlarını incelemiş ve çıkış KOİ'lerini karşılaştırıldığında iki fazlı sistemde daha fazla arıtma verimi olduğu ve ayrıca organik yükleme hızı, hidrolik bekletme süresi, arıtma verimi ve biyogaz üretimi açısından tek fazlı arıtıma göre daha avantajlı konumda olduğu görülmüştür[2]. Arjen, çalışmada sodyumun bir UASB reaktörde, granül çamur kullanılarak çeşitli seviyelerdeki asetat konsantrasyonlarında ve pH seviyelerinde asetattan metan oluşumu üzerine etkisi incelenmiş, ve sodyum tuzlarıyla düzenli ve sürekli beslenen UASB reaktörleri üzerinde etkisinin olduğunu gösteren sonuçlar verdiği görülmüştür[32]. Nigiz, yapılan çalışmada laurik asit ve metanol arasındaki esterleşme reaksiyonu amberlit 36 katalizörü eşliğinde, deneysel optimizasyon için kullanılan değerler ise sırasıyla; sıcaklıklar (50 °C, 57,5 °C, 65 °C), alkol asit oranı 2:1, 4:1, 6:1 ve katalizör konsantrasyonu (2:1, 4:1, 6:1), kullanılarak, önce kesikli daha sonra membran reaktörde gerçekleştirilmiş ve asit dönüşüm değerleri kıyaslanmıştır[33]. Tek kademeli membran reaktörde dönüşüm değeri %95 olarak bulunmuş ve membran reaktör dönüşüm değerinin kesikli reaktör dönüşüm değerine oranlanması sonucu ise membran reaktör kullanılması sebebiyle %23 artış gösterdiği görülmüştür. Yıldız, çalışmasında maya proses

atıksuyunun anaerobik arıtma yöntemi kullanılarak uçucu yağ asidi üretimi ve sülfat içeriğine sahip olması sebebiyle sülfat indirgenmesi de araştırılmıştır[34]. Başlangıç KOİ'si 60 gKOİ/lit ve sülfat konsantrasyonu 3,8 g/lit iken iki fazlı anaerobik arıtım asitleşme fazına kadar incelenmiş ve anaerobik membran biyoreaktör ile çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak anaerobik membran biyoreaktörde sülfat giderimi %72, bitürat/asetat oranının ise en düşük olduğu değerin pH 7-8 de gerçekleştiği ve bu pH değerinde uçucu yağ asidi üretimi için optimum değer olduğu görülmüştür.

2.8. ŞEKERLEME SANAYİ ENDÜSTRİSİ PROFİLİ

2.8.1. ŞEKERLEME ENDÜSTRİSİNİN KARAKTERİSTİKLERİ

Türkçe şeker kelimesi, Arapça 'sukkar' kelimesinden adapte olmuş, İngilizce 'sugar', Fransızca 'sucre', Almanca 'zucker', İtalyanca 'zuchera', İspanyolca ve Portekizce 'azucar' isimlerini almıştır. Şeker kimyasal formülü $C_{12}H_{22}O_{11}$ olan bir karbonhidrattır. Şekerleme endüstrisi; jelibon, marshmallow, sakız ve lolipop vb. şekerleme ürünlerini üreten kuruluştur. Şekerleme endüstrisinde ham madde olarak, şeker, glikoz, su ve çeşitli tatlandırıcı, renklendirici ve koku verici maddeler kullanılır [35]. Şekerleme endüstrisinde üretimde kullanılan su miktarı, oluşan atıksudan daha az olmasına karşın, yüksek kirletici konsantrasyonuna sahiptir. Şekerleme endüstrisi atıksuları genel olarak asidik bir karaktere sahiptir. Çevrede organik ve inorganik kirlilik yaratması sebebiyle arıtılması büyük önem taşımaktadır. Centre for Business and Economics Research (CeBER)'nin şekerleme endüstrisi atıksularının değerlendirilmesine yönelik yapılan araştırma projelerinde, şekerleme ürünlerinin %75 karbonhidrat, %14 yağ, %6 su ve %4 protein bileşenlerinden faydalanılabilir. Aynı zamanda atık değer kazanımı olarak; Şekerleme atıklarından poli-glutamik asit (PGA) üretimi, çikolata atıklarından polihidroksialkanatların (PHA) üretimi, şekerleme atıklarından biyo-etanol üretimi, şekerleme atıklarından anaerobik sindirim (AD) kullanarak biyogaz üretimi de yapılabilmektedir. Şekerli atıksuyun besin içeriğinde ise 50.000-80.000 ppm KOİ ve 40 000-60 000 ppm BOİ vardır. Bir şekerleme endüstrisinden yaklaşık olarak yılda 625 ton kadar atık üretilebilmektedir [36].

2.8.2. ŞEKERLEME ENDÜSTRİSİ ÜRETİM ÖZELLİKLERİ

Yapılan bir çalışmada, ele alınan Tesiste şekerli ve şekerli sakız ürünleri üretilmektedir. Tesis 3 vardiya halinde, toplam 500 çalışanla, haftada 6 gün olmak üzere senede toplam 290 gün faaliyet göstermektedir. Yıllık toplam 12000 tonluk şekerli ve şekerli sakız üretimi yapılmaktadır. İki ürün içinde kullanılan maya, çeşitli reçinelerin ve hammaddelerin bir araya getirilerek maya mikserinde karıştırılması sonucu oluşmaktadır. Şekerli ve şekerli sakız üretiminde kullanılmak üzere ayrı ayrı depolara kaldırılmaktadır. Şekerli sakız üretim prosesinde, depodaki hazır maya, mikserde 4-6 atü buhar basıncı verilerek 2-6 saat karıştırılmaktadır. Karıştırma işleminde, mayanın açıklığına yol açmaması için tuz vb. maddeleri uzaklaştırmak adına, kullanılacak maya 4-5 kez su ile yıkanmaktadır. Bu işlemler sonucunda prosesten atıksu oluşmaktadır. Daha sonra şekerli sakız üretimi için kullanılacak maya, belirli kalıplara dökülerek depolara korunmaktadır. Üretime başlanacağı zaman depodan alınan mayalar, ikinci bir mikserde belirli sıcaklık ve basınçta tekrar karıştırılır ve kullanıma hazır hale getirilmektedir. Daha sonrasında sıcak olan hamur, soğutma havuzunda soğutulmaya bırakılır. Soğutma işlemi sırasında hamur soğuk su içerisinde elle yoğrulur ve sonucunda atıksu oluşur. Soğumuş haldeki hamur, germe makinasında hamurun gerilerek uzatılması sağlanmaktadır. Sonrasında ekstruder makinasında ip halinde çekilerek uzatılması sağlanmaktadır. Soğutma tüneli adı verilen bir bant üzerinde ip haline gelen hamur soğuk hava verilerek +4°C'ye kadar soğutulmaktadır.

Soğuyan hamur kesime hazır hale gelmekte ve kesme makinalarında belirli ölçülerde kesildikten sonra ambalajlanarak tüketime hazır hale getirilmektedir. Şekerli sakız üretim prosesinde ise depodan hazır olarak alınan maya yıkama işlemi yapılmadan, hamur mikserine şeker, glikoz ve esans ilave edilerek belirli bir buhar basıncı ve sıcaklık altında belirli bir süre karıştırılmaktadır. Karıştırma işlemi sonucunda elde edilen hamurun bir kısmı ekstruder makinasında ip haline gelene kadar çekilmektedir. Daha sonra ip halinde uzatılan hamur küçük boyutlarda kesilerek top veya draje şeklinde şekillendirilmektedir. Sonrasında döner kaplama kazanlarında üzerlerine daha önceden hazırlanan şurup ve renklendirici maddelerin ilave edilmesiyle kaplama işlemi tamamlanmaktadır. Şekerli sakızlar son olarak, soğutma tüneline +4°C'ye kadar soğutulduktan sonra parlatılarak ambalajlanır ve tüketime hazır hale getirilmektedir [37].

Yapılan başka bir çalışmada, Şerbet şekeri üretilirken, 1 saat süreyle, 140 °C'ye kadar belirli oranda şeker ve su şurup hazırlama kazanında kaynatılarak hazırlanmaktadır. Pişirme süresinin tamamlanmasına yakın renklendirme işlemi için belirli miktarda boya maddesi ilave edilir. Pişirme işlemi tamamlandıktan sonra gülsuyu ilave edilmektedir. Sonra şekillendirilmek üzere bakır tepsilere dökülüp soğuması beklenmektedir. Soğuduktan sonra ise belirli şekillerde kesilerek ambalajlanmaktadır. Atıksu oluşumu, proses ekipmanlarının temizlenmesi ile şurup kazanı ve tepsilerin yıkanması sonucu oluşmaktadır. Bir başka çalışmada ise, yumuşak şekerleme, dolgulu ve dolgusuz sert şekerleme ürünleri imal edilmektedir. Tesiste haftada 6 gün, senede 290 gün faaliyet olmakla birlikte, iki vardiya halinde, toplam 450 kişi çalışmakta ve günlük 10 ton yumuşak şekerleme, 15 ton dolgulu ve dolgusuz şekerleme olmak üzere toplam 25 ton'luk üretim yapılmaktadır [38]. Yumuşak şekerleme üretiminde, belirli oranda şeker, glikoz ve çeşitli katkı maddeleri eklenerek belirli bir buhar basıncında ısıtılıp karıştırılarak ürün için şurup hazırlanmaktadır. Daha sonra şurup, serpantin borular aracılığıyla vakumlanır ve pişirme kazanına verilerek belirli bir dereceye kadar pişirilerek vakumlanmaktadır. Pişmiş haldeki hamur basınçlı çırpma kazanına aktarılmakta ve kazana bazik katkı maddeleri eklenerek basınçlı hava verilerek hamur çırpılmaktadır. Çırpılmış hamur basınçlı hava altında soğutma tamburuna getirilir, soğutulur ve otomatik pistonların yardımıyla çekme makinasına aktarılır. Daha sonra düz halde çekilen hamur soğuma bandında soğutulmakta ve kesme makinasında kesilmektedir. İnce rulolar haline getirilmek için ekstrudere gönderilmektedir. Buradan çıkan ürün soğutma tüneline soğutulmakta ve kesme makinalarında kesilerek ambalajlanmaktadır. Atıksu prosesin üretim aşamasında oluşmaktadır. Dolgulu sert şekerleme üretiminde, belirli oranlarda toz şeker, su, glikoz ve çeşitli katkı maddeleri eklenerek belirli bir buhar basıncında ısıtılıp karıştırılarak ürün için şurup hazırlanmaktadır. Daha sonra şurup, serpantin borular aracılığıyla vakumlanır ve pişirme kazanına verilerek belirli bir dereceye kadar pişirilerek vakumlanmaktadır. Buradan karıştırma makinasına aktarılarak homojen bir şekilde karıştırılan hamur, yoğurma makinasında şurup hamura iyice karışacak şekilde yoğurulmaktadır. Yoğurulan hamur rulo makinasında kalın rulo haline getirilmektedir ve makara makinasından geçirilmektedir. Daha sonra daha ince rulo haline getirilen ürün, şekillendirme makinasında şekillendirildikten sonra soğutma tüneline soğutulmakta ve ambalajlanarak tüketime sunulmaktadır. Atıksu prosesin üretimi aşamasında ve şurup kazanı, pişirme kazanının yıkanması ve ekipmanların temizlenmesi sonucunda oluşmaktadır. Dolgusuz sert şekerleme üretiminde, belirli oranlarda toz şeker, su, glikoz ve çeşitli katkı maddeleri eklenerek belirli bir buhar basıncında ısıtılıp karıştırılarak ürün için şurup

hazırlanmaktadır. Daha sonra şurup, serpantin borular aracılığıyla vakumlanır ve pişirme kazanına verilerek belirli bir dereceye kadar pişirilerek vakumlanmaktadır. Daha sonra çeşitli aralıklarda aroma eklenmesi yapıldıktan sonra hamur pistonlar aracılığıyla kalıplara dökülmek üzere depozitör makinasına gönderilmektedir. Kalıplara dökülmüş hamur vakumlandıktan sonra soğutma tüneline gönderilir ve belirli dereceye kadar soğutulduktan sonra ambalajlanarak tüketime hazır hale getirilmektedir.

2.8.3. ÜRÜNÜN TANIMI

Şekerlemeler; içeriğine göre şeker ve glikozun veya sadece şekerin pişirilmesinden sonra sitrik asit, tartarik asit veya potasyum bitartarat eklenerek kestirilmesi sonucu oluşan hamura, üretilmek istenen ürünün çeşidine göre süt, süt tozu, jelatin, yağ ve aroma gibi maddelerin eklenmesi sonucu şekillendirilerek ambalajlanması sonucu elde edilmektedir. Şekerlemelerin yapısını çoğunlukla karbonhidratlar ve şekerin yapısını ise sakkaroz ve türevleri oluşturmaktadır. Sakkarozun elde edilmesi ise şeker pancarı veya şeker kamışının özel birtakım yöntemlerle rafine edilmesi sonucu olmaktadır. Diğer önemli bir konu ise mısırdan elde edilen nişastadan özel bir üretimle elde edilen glikozdur ve glikoz şekerin kristalize olmasını etkileyerek işlenmesini ve şekillendirilmesini daha kolay bir hale getirmektedir. Şekerlemeler, Türk Gıda Kodeksi'nde, Sert şekerleme, Yumuşak şekerleme, Jöle şekerleme, Draje şekerleme, Tablet şekerler, Meyve şekerlemeleri, Badem ezmesi ve benzerleri, Koz helva, nuga ve benzerleri, Fondan, Krokan, Dolgulu şekerleme ürünleri. Diğer şekerli ürünler ise, Helva, Çiklet, Lokum, Çikolata ve kokolinler olmak üzere gruplara ayrılmıştır. Sert şekerlemeler; Sakkarozun glikoz şurubu ve/veya invert şeker ile pişirilerek elde edilen camsı ve amorf yapıda şeker kitlesinden oluşan, aroma ve renklendirici içeren ürünlerdir. Üretimi basit bir yöntemle dayanır ancak tekniğin usullere uyulmadan üretim yapıldığı takdirde kristalleşme ve yapışkanlık gibi kısa sürede ortaya çıkabilecek sorunlar oluşmaktadır. Yumuşak şekerlemeler; toffe ve karamel şekerlemeleler, süt, süt yağı ve bitkisel yağlardan oluşur. Aralarındaki fark ise teoffelere çiğneme özelliği kazandırmak için jelatin veya albümün eklenir ve süt ilave etmeden de yapılabilirler. Jöle şekerlemeler; üretilen diğer şekerli ürünlere göre daha düşük sıcaklık kullanılır bu nedenle nem oranları da onlara kıyasla daha yüksektir. Yapısal özellikleri nişasta, jelatin, pektin, arap zamkı ve agard gibi jelleştirme maddelerinin eklenmesiyle sağlanmaktadır. Bunlar dışında şeker ve glikoz şurubu da eklenmektedir.

Genel olarak serin, kuru ve doğrudan güneşe maruz kalmayacak yerlerde, koku vermeyecek maddelerin yanında, 22°C ve %60 nem oranının üzerinde olmadığı yerlerde ürünler son tüketim tarihine kadar bozulmadan kalabilmektedir. Tablo 2.8.3'de Şekerlemelerde kullanılan hammaddeler gösterilmiştir.

Tablo 2.8.3: Şekerlemelerde kullanılan hammaddeler [38].

A. Doğal Tatlandırıcılar
1. Sakkaroz
2. İvert Şeker, Kristal oluşumu, Çözünürlük
3. Glikozlu Tatlandırıcılar
4. Şeker Karışımları
5. Laktoz
6. Polialkoller (Sorbitol, Mannitol, Ksilitol, Maltitol, Laktitol)
B. Yapay Tatlandırıcılar
C. Diğer Bileşenler
1. Nişasta
2. Pektin
3. Lezzet vericiler
4. Yağlar
5. Protein (Albumin, Jelatin)
6. Suda çözünen zamklar
7. Yüzey aktif madde (Lesitin)
8. Asitlendirici maddeler
9. Antioksidan maddeler
10. Renk maddeleri

2.8.3.1. Şekerleme Endüstrisi Atıksuyu Özellikleri ve Arıtımı

Şekerleme endüstrisi atıksuları genel anlamda yüksek organik madde içeriğine sahip oldukları için biyolojik olarak arıtılmadan doğrudan deşarj edilememektedir. Ön arıtma olarak anaerobik arıtma uygulanır ve yüksek miktardaki organik maddenin büyük bir çoğunluğunun giderimi sağlanır, aksi halde doğrudan bir kademeli arıtma yeterli olmamaktadır. Anaerobik arıtma gıda ve tarıma dayalı endüstrilerde organik kirliliğin azaltılması için uygulanmaktadır ve doğru boyutlandırma yapılabilmesi için atıksuyun girişteki karakteristik özellikleri iyice

araştırılmalıdır [39]. Atıksuların kanala deşarj yönetmeliğinde, gıda endüstrisi başlığı altında reçel, şekerleme, çikolata, bisküvi, çiklet, dondurma üretilen endüstriler için bakılacak kontrol parametreleri, KOİ, AKM, Yağ-Gres, pH'dır [40]. Tablo 2.8.3.1'de SKKY şeker üretimi ve benzerleri için atıksu deşarj limitleri gösterilmiştir.

Tablo 2.8.3.1. SKKY şeker üretimi ve benzerleri için atıksu deşarj limitleri

Parametre	Birim	Kompozit Numune 2 Saatlik	Kompozit Numune 24 Saatlik
Kondenzasyon suları ile seyreltme yok ise			
KOİ	mg/lt	500	450
AKM	mg/lt	100	80
ZSF	-	4	-
Kondenzasyon suları ile seyreltme var ise			
KOİ	mg/lt	60	-
ZSF	-	4	-

2.8.3.2. Şekerleme Endüstrisi Literatür Çalışmalar

Şekerleme Endüstrisi atıksuyu ile yapılan çeşitli atıksu arıtım çalışmaları ile ilgili bilgiler Tablo 2.8.3.2. verilmiştir [38].

Tablo 2.8.3.2. Şekerleme Endüstrisi atıksuyu ile yapılan çeşitli çalışmaları.

Parametreler	Birim	[41]	[42]	[43]	[44]
KOİ	mg/L	4475	2840-6220	500	19900
Ç.KOİ	mg/L	-	2500-5400	-	-
BOİ	mg/L	2200	1840-4910	3200	-
TKN	mg/L	100	33-55	-	-
TP	mg/L	17,2	8,6-65	-	-
TAKM	mg/L	649	260-440	177	1050
UAKM	mg/L	490	-	-	-
pH	-	-	4-5,1	6	-
Yağ ve Gres	mg/L	367	-	-	-
		[45]	[46]	[47]	[48]
KOİ	mg/L	1700	9170-9950	6221	6400-21000
Ç. KOİ	mg/L	1400	3520-6650	5386	-
BOİ ₅	mg/L	-	2970-6640	4909	300-19800
TKN	mg/L	36	56-73	33	1,8-49
TP	mg/L	4	2,3-3,1	8,6	3,2-30
PO ₄ -P	mg/L	-	-	-	-
SO ₄ ²⁻	mg/L	-	-	-	-
pH	-	8,7	6	4	3,3-6,4
AKM	mg/L	1050	-	440	522-2050

Tablo 2.8.3.3. Şekerleme Endüstrisi atıksuyu ile yapılan çeşitli çalışmaları

Şekerleme Kaynağı	İşlem	Sonuç	Referans
Katı Atık			
Şekerleme Atıkları	MFC	Elektrik	[49]
Sıvı Atık			
Şekerleme Atıkları	Laboratuvar ölçekli	Algal biyokütle	[50]
Şekerleme Atıksuyu	AÇ arıtma	Sulama için su	[51]
Şekerleme Atıksuyu	Anaerobik Arıtma	Hidrojen	[52]
Şekerleme Atıksuyu	Fermentasyon	Bioflocculant	[53]



3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Reaktör Konfigürasyonları

Çalışmada kullanılan sistem iki adet reaktörden oluşmuştur. Şekil 3.1.'den iki fazlı arıtma sistemini oluşturan tüm üniteler ve ekipmanlar görülebilir. Anaerobik fermentasyon reaktörü; tam karışimli sürekli çalışan bir reaktördür. Cam malzemeden yapılan reaktör 4 litre aktif hacme sahiptir ve ısı kontrollü ile sistem 35-37°C civarında tutulmaktadır(Foto 1).



Foto 1. Asidifikasyon (ön asitleşme) reaktörü (Mezofilik sıcaklıkta)

Reaktör içindeki karışımın homojen olması ve bakterilerin substratla temasının sağlanması gerekir. Reaktörde anaerobik koşulların tamamen sağlanması amacıyla karıştırmanın dışardan mekanik yollarla yapılması yerine reaktörün altına konan bir manyetik karıştırıcı yardımıyla yapılması tercih edilmiştir. Karıştırıcı 90 devir/dakika'lık bir hızda karışım yapmıştır. Reaktörde numune alma musluğu, gaz toplama hattı (bir gaz toplama şişesine bağlı), giriş ve çıkış hatları, asit-baz girişi sağlayan bir hat, online pH ayarlamasını sağlayacak pH metreye bağlı reaktöre batık vaziyette bir pH probu yuvası bulunmaktadır. Şekil 3.1.'de iki fazlı çalışma öncesi optimum asitleşme koşullarının belirlenmesi sırasında fermentasyon ve hibrit yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktör detayları (Foto 2,3) görülebilir.



Foto 2. Hibrit yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı (hybrid UASB)

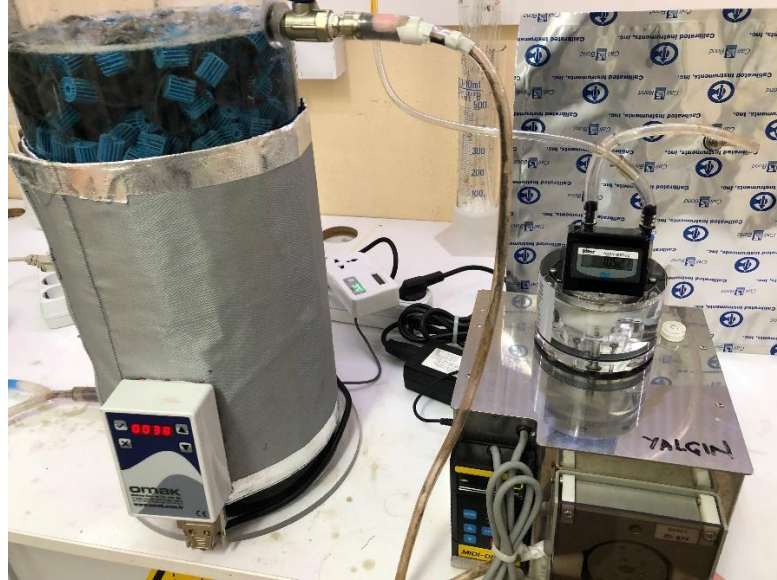
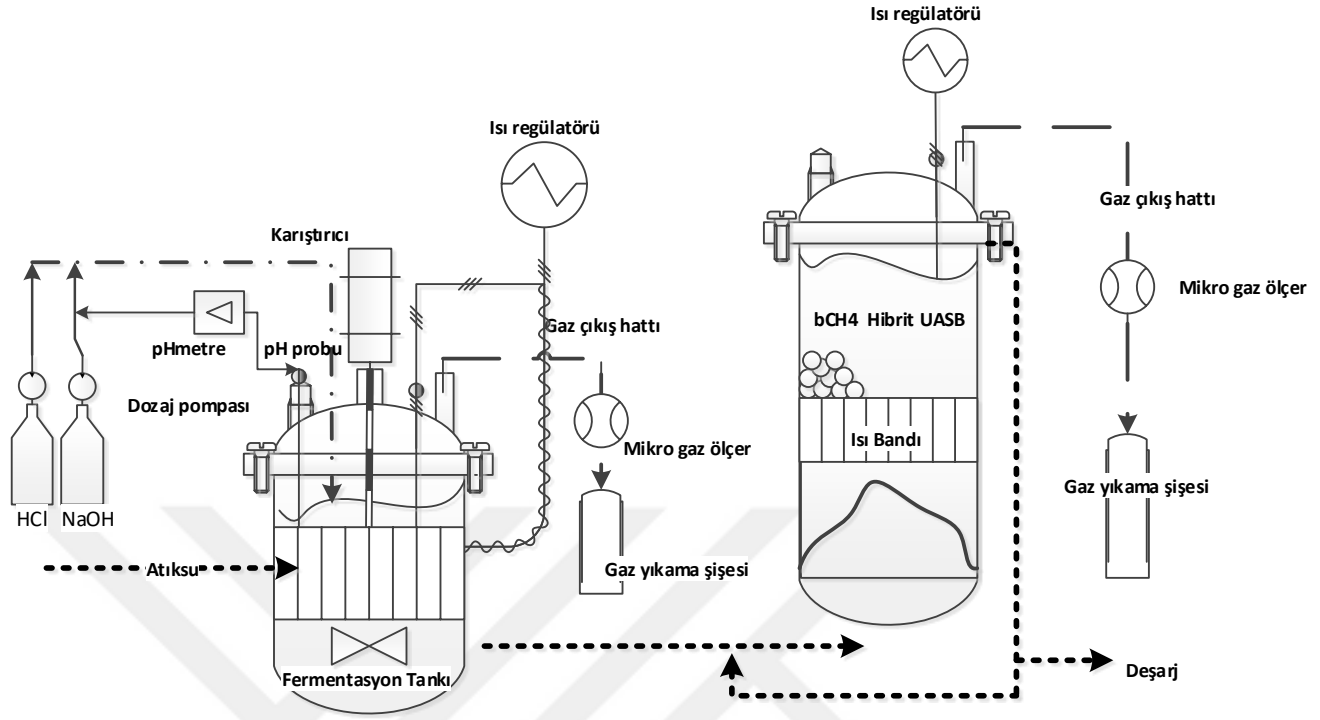


Foto 3. Hibrit yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı ve Ritter mikro gaz ölçer

pH'nın oldukça büyük bir öneme sahip olması nedeniyle online pH ayarlamasının yapılmasını gerekli kılmıştır. Bu amaçla otomatik pH ayarlayan düzenek hazırlanmış ve pH'yı ayarlamak için 1N HCl ve 1N NaOH kullanılmıştır. Tam karışimli reaktör işletmeye alınmadan önce herhangi bir sızıntı ya da gaz kaçağı olmaması için silikon, gres yağı ve keçeler vasıtasıyla sıkıca kapatılmıştır. Daha sonra sistemden 10 dakika süreyle azot gazı geçirilerek çalışma öncesi anaerobik koşullar sağlanmıştır. İkinci reaktör yukarı akışlı hibrit bir reaktördür (Hybrid Upflow Anaerobic Sludge Bed- Hybrid UASB). Reaktör 40 cm boy, 20.5 cm çapa sahiptir. Reaktörün hacmi 13 litredir ve iki kısımdan oluşmaktadır (Tablo 3. Hibrit UASB özellikleri) İstenilen yukarı akış hızı geri devir pompasıyla sağlanmaktadır.

Tablo 3. Hibrit UASB boyutları ve Hidrolik Bekletme Süresinin Hesabı

R (çap)	cm	20,5	m	0,205	yarıçap	10,25
h (yükseklik)	cm	40	m	0,4	m ³ /saat	
Q (debi)	ml/dk	9	l/dk	0,009	0,00054	
Q=V.A	V	0,016369	m/saat		Daire alanı	
					329,8963	
					0,03299	
HRT=H/V _{up}	HRT	24,44	saat			



Şekil 3.1. İki fazlı anaerobik biyolojik arıtma süreci.

Reaktör plesiglass'tan imal edilmiş olup bir otomatik kontrollü ısı bandı vasıtası ile hassas sıcaklık kontrolü sağlanmaktadır($35\pm 2^{\circ}\text{C}$). Atıksu girişinin yapıldığı alt bölüm bir çamur yatağında oluşmaktadır. İkinci kısım ise bir aparat ile ayrılmış dolgu malzemesi ile doldurulmuş bölümdür. Dolgu malzemesinin genel özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Dolgu malzemesinin özellikleri .

Dış Çap	25 mm
Uzunluk	25 mm
Ağırlık	70 kg/m^3
Boşluk Hacmi	%90
<i>Spesifik Yüzey Alanı</i>	$206 \text{ m}^2/\text{m}^3$

3.2 Analitik Metodlar ve Besi Maddeleri

Çalışma boyunca sistemi izleme takvimi ile kararlı denge koşullarını kontrol etmek için günlük ve periyodik aralıklarla rutin analizler yürütülmüştür. İzleme takvimi, analitik metodlar ve kullanılan laboratuvar cihazları Tablo 3.3. ve Tablo 3.4. 'de görülebilir.

Bütün analizler standartlara “Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater” e uygun şekilde yapılmıştır[54]. *Besi Maddeleri:* Her iki reaktörde biyokütlenin atıksuya aklimasyonu sırasında başlangıçta sadece glikoz kullanılmıştır. Glikoz çözeltisine C:N:P oranı 400:5:1 olacak şekilde CH_4N_2O (Üre), KH_2PO_4 katılarak gerekli denge sağlanmıştır.

3.3 Deneysel Planlama

Tek ve iki kademeli anaerobik arıtma sistemlerinde organik madde giderimi ve bu giderim verimini etkileyen nedenler incelenirken çeşitli izleme parametreleri kullanılacaktır. Her iki sistemde temel değerlendirme parametresi organik madde giderim verimi (KOİ)'dir. Toplam ve süzölmüş KOİ olarak girişte-çıkışta yapılan deneylerde sistemlerin organik madde giderimi incelenmiştir. KOİ gideriminin yanısıra biyogaza dönüşüm oranı da anaerobik sistemlerde oldukça önemli bir parametredir. Bu sebeple özellikle ıslak gazmetre yardımıyla hibrit reaktörde biyogaz oluşumu hacimsel olarak ve baskın gaz türleri online GC vasıtası ile belirlenmiştir(Foto 4.).



Foto 3. Anaerobik reaktörlerden çıkan biyogaz kompozisyonunu belli başlı gazlara göre ölçen On-line GC ekran görüntüsü

İki kademeli anaerobik arıtmada kullanılan ön asitleşme tankında biyogaz oluşumu asitleşmenin başlamasını takiben hızla düşerek oldukça düşük seviyelere geleceği için gaz ölçümü yapılmamıştır. Atıksu karakterizasyonunda ve reaktörde biyolojik değişimin takip edilmesinde toplam ve askıda katı madde parametreleri Tablo 3.3’de verilen sıklıkta takip edilmiştir. TKN, NH₃-N, PO₄-P ve alkalinite sistemler atıksu ile beslenirken eksiklikleri yada yüksek miktarda olmaları nedeniyle sürekli dengelenmesi gereken parametrelerdir. Bunun yanısıra anaerobik sistemlerde NH₃-N ve alkalinite sistemlerin kararlı halde çalışıp çalışmadığının önemli göstergesidir. Bu parametreler atıksu değişiminde, kararlı halin takip edilmesinde reaktör giriş ve çıkışında sürekli olarak çalışmıştır.

İki kademeli arıtma sisteminde ise ön asitleşme tankında asidifikasyon oluşumunun izlenerek işletme koşullarının optimizasyonun da kullanılan uçucu yağ asitleri (UYA) günlük olarak toplam yağ asitleri olarak belirlenmiştir. Son olarak anaerobik sistemlerde izlenmesi oldukça önemli olan pH parametresi günlük ve sürekli takip edilecektir. Özellikle asidifikasyonun gerçekleştiği ön asitleşme tankında pH sürekli izlenerek reaktör istenilen pH aralığında tutulacaktır. Ayrıca hibrit reaktör giriş - çıkışında ve atıksu besleme tanklarında sürekli pH kontrolü yapılmıştır.

Fermentasyon reaktöründe kullanılacak anaerobik çamur laboratuvardaki hibrit UASB’den alınarak ön işlemden geçirilmiştir. Reaktörden alınan çamurda uçucu askıda katı madde (VSS) konsantrasyonu çamur 15 g/L olarak belirlenmiştir. Aşı çamuru 100° C’de yaklaşık 15 dakika ısıtılarak, asitle ön işlemleri uygulandı. Çamur 1 N HCl ile pH 3’e ayarlanarak ve asidik şartlarda 24 saat, pH’ı 1 N NaOH ile 10’a getirilerek 24 saat boyunca bekletilmiştir. Önceden işlenmiş çamur glikoz esaslı ortama aşılanmış anaerobik fermentasyon süreci için oda sıcaklığında inkübe edilmiştir.

Tablo 3.3. Anaerobik reaktörlerde izleme parametreleri.

Parametre	Sıklık	Numune Alma Yeri
Giriş Debileri	Günlük	Pompa
KOİ : Giriş	2 günde bir	Besleme Hattı
Çıkış	2 günde bir	Çıkış Hattı
Gaz Üretimi	Günlük	Islak Gazmetre
Katılar: Besleme Tankı	Atıksu Karakterizasyonunda	Besleme Hattı
Çıkış	Kararlı hal	Çıkış Hattı
Reaktör	Kararlı hal	Numune musluğu
Sıcaklık	Sürekli	Su Ceketı
TKN	Atıksu Karakterizasyonunda Reaktörlerde Kararlı Hal	Numune Bidonu Çıkış Hattı
NH ₃ -N	Atıksu Karakterizasyonunda Reaktörlerde Kararlı Hal	Numune Bidonu Çıkış Hattı
PO ₄ -P	Atıksu Karakterizasyonunda Reaktörlerde Kararlı Hal	Numune Bidonu Çıkış Hattı
Alkalinite	Atıksu Karakterizasyonunda Günlük	Numune Bidonu Çıkış Hattı
Toplam Uçucu Yağ Asitleri	Atıksu Karakterizasyonunda Günlük	Numune Bidonu Çıkış Hattı
pH	Atıksu Karakterizasyonunda Günlük	Numune Bidonu Çıkış Hattı

Tablo 3.3.1’de yapılan çalışmada izleme takvimine bağlı olarak yapılan analizlerde kullanılan metod ve enstrümanlarla ilgili bilgiler verilmektedir.

Tablo 3.3.1. Kullanılan laboratuvar aletleri ve analitik metotlar.

Parametre	Metod	Enstrüman
Giriş Debileri	Besleme Pompası Düzeneği	Peristaltik Watson Marlow pompa
KOİ	ISO 6060-1989, DIN 38409-H41-H44, Dikromat	Hach LCK
Gaz Üretimi	Ritter Mini gaz ölçer	Islak Gazometre
Katılar: AKM, UAKM, TKM, TUM	Gravimetrik,	Standart Metodlar (1995), 2540 B,C,D,E
BOİ ₅	DIN ISO 16072	WTW Oxitop IS 12
TKN	Distilasyon-Titrasyon Makro Kjeldahl Metodu	Standart Metodlar (1995), 4500-N _{org}
NH ₃ -N	Distilasyon-Titrasyon Titrimetrik Metod	Standart Metodlar (1995), 4500-NH ₃
PO ₄ -P	Kolorimetrik Yöntem Kalay Klorür Metodu	Standart Metodlar (1995), 4500-P
Alkalinite	Titrasyon Metodu	Standart Metodlar (1995), 2320 B
Uçucu Yağ Asitleri	Gaz-Sıvı Kromatografi	HP 5890 Model II
pH	pH metre	Jenway İyonmetre

3.4 Atıksuyun Karakterizasyonu

Atıksuya ait genel karakterizasyon Tablo 3.4’de verilmiştir. Literatürde yapılan incelemede şekerleme endüstrisi atıksuyunun oldukça kompleks ve değişken olması nedeniyle oldukça sınırlı sayıda atıksu karakterizasyona rastlanmıştır.

Tablo 3.4. Şekerleme endüstrisi atıksuyu karakterizasyonu.

Parametre	Birim	Değer
pH	-	3,97
İletkenlik	mS/cm	0,65
Tuzluluk	ppt	0,33
Toplam KOİ	mg/l	18533
Süzülmüş KOİ	mg/l	17667
TKN	mg/l	8,064
NH ₃	mg/l	0,168-0,224
TN	mg/l	12,6
TP	mg/l	1,37
BOİ ₅	mg/l	17005
Pt-Co	-	3,52
TOC	mg/l	4564
TUYA	mgHAc/l	367-467
Org N	mg/l	7,84
NO ₂ +NO ₃	mg/l	-
AKM	mg/l	1530
UAKM	mg/l	1460
Res		
Abs		0,528
λ ₄₃₆		0,23
λ ₅₂₅		0,165
λ ₆₂₀		0,133

3.5 Asitleşme derecesi, hidroliz verimi, UYA üretimi ve bileşimi

Şekerleme endüstrisi atıksuyu ile işletilen reaktörde tüketilen substratlarının uçucu yağ asitlerine dönüşme oranlarının hesaplanması, reaktörler içinde gerçekleşen dönüşüm oranlarını belirleyebilmek için önemlidir. Asitleşme derecesi denklem (3.5.)’de verildiği gibi KOİ (mg/L) cinsinden üretilen net (çıkış-giriş) uçucu yağ asit miktarının, KOİ (mg/L) cinsinden giriş akımındaki çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacına oranını çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacına oranını ifade etmektedir.

Denklemden S_f ; üretilen net UYA miktarının KOİ eşdeğerini, S_i ; giriş akımındaki KOİ değerini göstermektedir. Her bir uçucu yağ asit miktarının KOİ eşdeğeri: Asetik asit için 1.066, propiyonik asit için 1.512, bütrik asit için 1.816, valerik asit için 2.036 ve kaproik asit için 2.204 olarak hesaplanmaktadır[55]

$$\text{Asitleşme derecesi (\%)} = \left(\frac{S_f}{S_i} \right) * 100 \quad (3.5.)$$

4. BULGULAR

4.1. ANAEROBİK FERMENTASYON

Asidojenik reaktörler, hidrolitik ve asidojenik anaerobik bakteri gruplarını içeren ve metanojenik arkea grubunun anaerobik topluluğun içinden izole edilerek ayrıldığı mikrobiyolojik popülasyonlardır. Anaerobik fermentasyon, organik atıklar dahil olmak üzere çeşitli biyokütleden katma değeri yüksek ürünler üretmek için kullanılabilir. Alkollerin ve organik asitlerin anaerobik fermentasyonun da yaygın olarak kullanılan karbon kaynakları çoğunlukla proteinler, lipitler ve karbonhidratlar bakımından zengindir [56-60]. Bununla birlikte, altı ila on iki karbon zinciri olan [61] orta zincirli karboksilik asitler (MCCA'ler), genellikle kimyasal işlemler [62] kullanılarak fosil kaynaklarından üretilir veya doğal yağlardan çıkarılır [63,64]

Anaerobik ön fermentasyon sistemleri, daha düşük bekletme sürelerinde reaktör hacimlerinde dolayısıyla işletme bakım masraflarında, yüksek organik madde yükleme hızlarında (1-13 g KOİ/1-gün), büyük avantajlar sağlayabilecek sistemlerdir[2].

Atık sudaki organik madde fermentasyon reaktöründe parçalandıktan sonra, organik madde UASB reaktörü tarafından giderilmektedir. Atık sudaki kirletici madde fermentasyon reaktörü ile hidrojen, metan, karbon monoksit ve uçucu yağ asitleri ve biyoyakıtların öncü bileşenleri olan yağ alkollerini gibi değerli ortam ürünlerine dönüştürülmüş olabilir. Fermentasyon reaktöründeki pH 6-6.5 arasında kontrol edilmiştir. Atık suyun reaktörlerde kalma süreleri sekiz saat ila yedi gün arasında değişiklik göstermektedir. Fermentör de biyolojik çamur yaşı (Sludge Retention Time - SRT) 10-20 gün veya daha fazla olarak belirlendi ve metan reaktöründe UASB de bu değer sonsuz olarak düşünülmüştür. F/M oranı, reaktördeki biyokütlenin substrata oranı olarak ifade edilir ve yaygın olarak atık su arıtma tesislerinde biyolojik işlemin tasarımı ve kontrolü için kullanılır. Fermentördeki F/M oranı, 3-4 g BOİ₅/UAKM aralığında seçilmiştir. Literatürde yapılan birçok çalışmada, F/M oranı 1-10 arasında yer almaktadır [65]. Arıtma verimliliğini sürdürmek için, fermentasyon tankı sonrası kullanılan hibrit UASB'deki F/M, yaklaşık 0.3-0.4 oranındaki geleneksel anaerobik reaktörlerde olduğu gibidir.

Asidifikasyon Başlangıç Çalışmaları

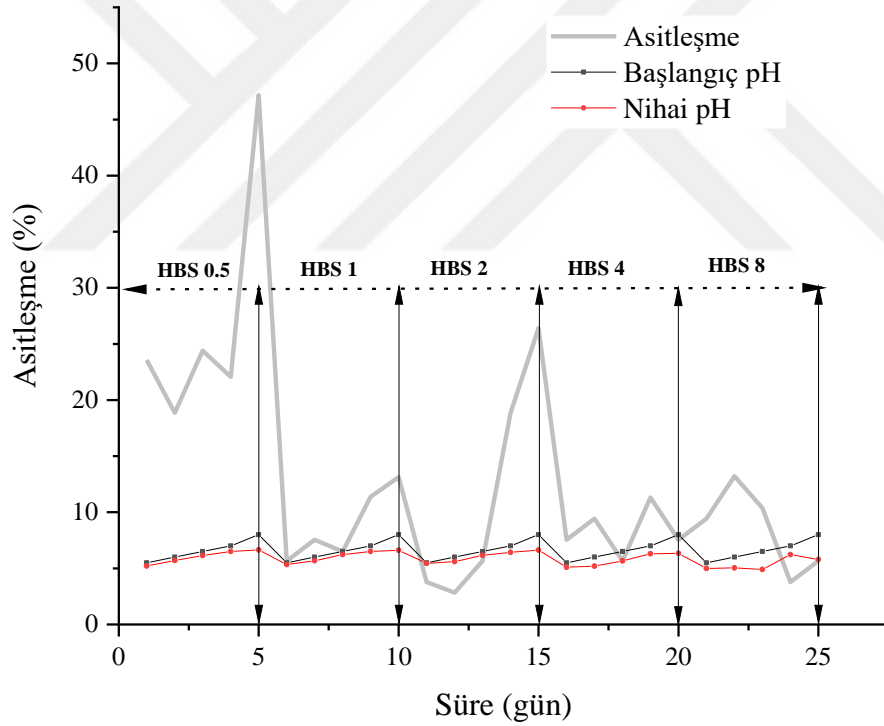
Anaerobik fermentörde asitleşmeyi belirleyen koşulların optimizasyonu sağlamak amacıyla bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. 250 ml'lik sızdırmaz kapaklı Schott Duran Original GL45 şişeler kullanılarak kesikli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Maksimum uçucu yağ asidi üretimi için optimum koşulları (HBS, pH) belirlemek amacıyla serum şişelerinde kesikli çalışmalar yapılmıştır. Kesikli çalışmalarda Anaerobik reaktörde aklime edilmiş durumda olan aşı kullanılmıştır. Substrat kaynağı olarak, Şekerleme endüstrisi atıksuyu kullanılmıştır. AKM ve UAKM analizleri yapılarak cam şişelere konulması gereken aşı çamuru ve atık miktarı hesaplanmıştır. Hazırlanan şişelerdeki aşı, atıksu ve medium miktarları; 50 ml aşı çamuru, 250 ml ham atıksu, 150 ml medium çözeltisi olarak belirlenmiştir. Aşı, atıksu ve medium belirtilen oranlarda eklenerek 250 ml'lik serum şişeleri hazırlanmıştır. Atıksu hem proses hem de evsel nitelikli atıksuyun karışımı olduğu için herhangi bir Mineral çözeltisi ilave edilmesine gerek duyulmamıştır. Şişeler kauçuk tapalar ve alüminyum kapaklar ile kapatılmıştır. Kapatılan serum şişelerine doldur boşalt ekipmanı ile 1.7 atm N₂ gaz karışımı uygulanarak şişelerin içerisinde kalmış olabilecek O₂ gazı süpürülmüştür. Serum şişeleri farklı pH'larda (5.5, 6, 6.5, 7, 8) olacak şekilde ayarlanmış, anaerobik şartlar sağlandıktan sonra sıcaklık 35 ±2°C'ye ayarlanarak çalkalamalı su banyosuna farklı hidrolik bekletme süreleri (0.5, 1, 2, 4, 8)gün olmak üzere ayarlanmıştır. Tablo 11.1. çalışma yapılan pH-Hidrolik Bekletme Süresi (HBS) arasındaki ilişkiyi gösteren matris olarak verilmiştir.

Tablo 4.1. Anaerobik fermentasyon için optimizasyon çalışması.

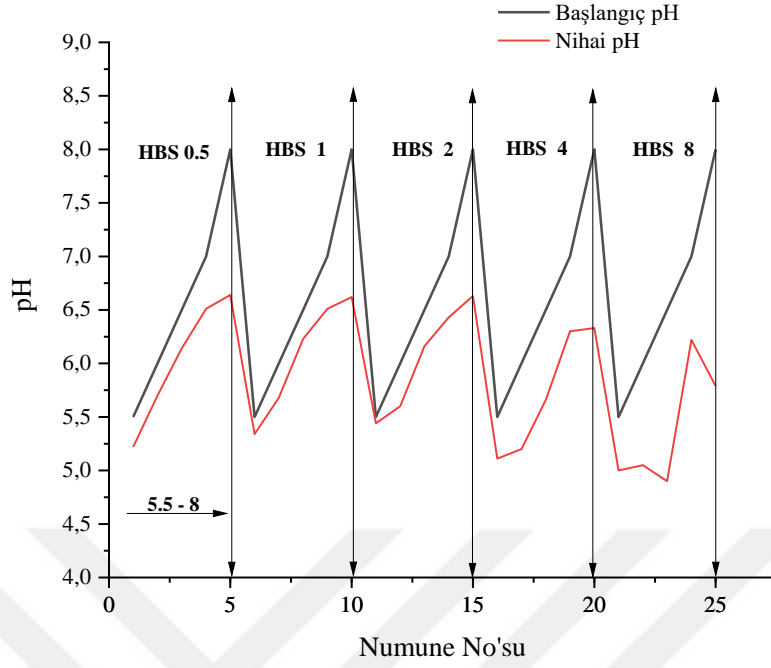
		HBS				
		0,5	1	2	4	8
pH	5,5	1	2	3	4	5
	6	6	7	8	9	10
	6,5	11	12	13	14	15
	7	16	17	18	19	20
	8	21	22	23	24	25

Anaerobik Asidifikasyon Reaktörü Sonuçları

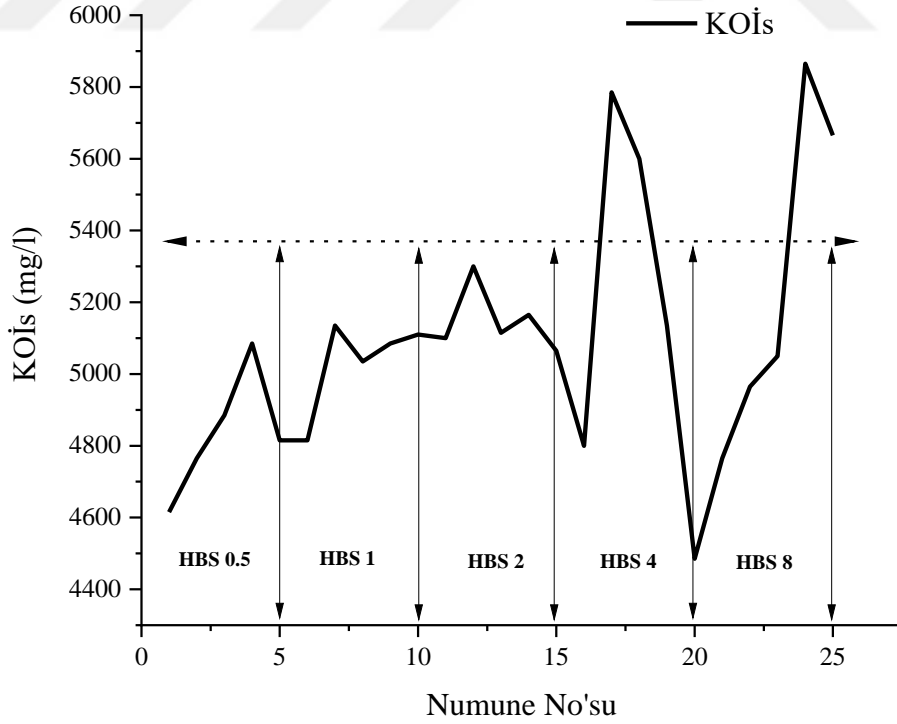
Tablo 4.1.'de verilen şartlara uygun olarak yapılan çalışma sonucu elde edilen veriler işlenmiş ve Şekil 4.1.a'da detayları verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi HBS süresi 0.5 gün (12 saat) olduğunda pH 5.5-7 aralığında ortalama %22'lik asitleşme sağlanırken pH 8'de bu çalışmada elde edilen en yüksek asitleşme (%47) elde edilmiştir. Ancak diğer HBS'de aynı pH aralığında elde edilen asitleşmeler karşılaştırıldığında pH 8'in bir noktada daha maksimize olduğu ancak ortalamada yer almadığı görülmüştür. O yüzden asitleşme reaktöründe yüksek pH'da sistemi tutmak yerine pH 5.5-8 aralığında serbest salınımına bırakılmıştır.



Şekil 4.1.a: Kesikli çalışmada farklı HBS'de asitleşme – pH ilişkisi.

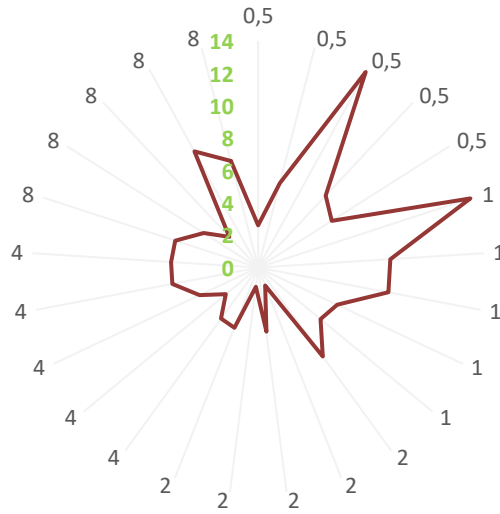


Şekil 4.1.b: Kesikli çalışmada farklı HBS’de asitleşme – pH değişimi



Şekil 4.1.c: Kesikli çalışmada farklı HBS’de süzölmüş KOİ’nin değişimi.

Şekil 4.1.c.'de şekerleme endüstrisi atıksuyunda bulunan yağ ve protein gruplarının fazlalığı HBS süresinin uzun olduğu analizlerde protein ve yağ degradasyonun da önemli bir katkı sağlamaktadır. Aktif çamur degradasyonu yapılan bir çalışmada aynı şekilde beş gün bekleme süresinde yüksek pH'larda (8-12) aktif çamur yüksek miktarlar da çözülmüş ve çözülmüş KOİ değeri pH'ya bağlı olarak artmıştır[66,67]. Benzer şekilde birçok çalışmada çözülmüş protein ve polisakkaritlerin aynı tipte pH'nın artışına paralel olarak çözünürlüklerinin arttığı belirlenmiştir[68]. Şekil 4.1.b.'de görüldüğü HBS 4 gün olduğunda yüksek pH'larda $7 <$ çözülmüş KOİ'de önemli miktarda artış meydana gelmektedir. Asitleşme yapılan bu çalışmada yüksek miktarda çözülmüş madde oluşması asidifikasyonun güçlü bir şekilde oluştuğunu göstermektedir. Kesikli yapılan çalışmada, izlenen bir diğer parametre ise çıkış NH_3 değerleri olmuştur. Girişte var olan NH_3 değeri, tespit edilen NH_3 değerinden çıkartılarak reaktörde üretilen net amonyak miktarı tespit edilmiştir. Şekil 4.2.c.'de aynı HBS'lerine bağlı olarak yine aynı pH'lara bağlı olarak amonyağın değişimi görülebilir.



Şekil 4.2.c: Asidifikasyon reaktöründe farklı HBS'ler de NH_3 oluşum paterni

Şekil 4.2.c.'de farklı HBS'lerde amonyak miktarları oldukça düşük olarak görülmektedir. Anaerobik asidifikasyon sistemlerinde metanojenler de inhibisyonun görülmeye başladığı değerler 80 mg/l olarak ifade edilmektedir[69]. Tüm HBS'de reaktörde oluşan amonyak değerleri önem taşımayacak değerler de oluşmaktadır(6-14 mg/l), doğal olarak burada metanojen türlerinde inhibisyon gerçekleştiği söylenebilir. Bu da asidifikasyon reaktöründe beklenen bir durumdur.

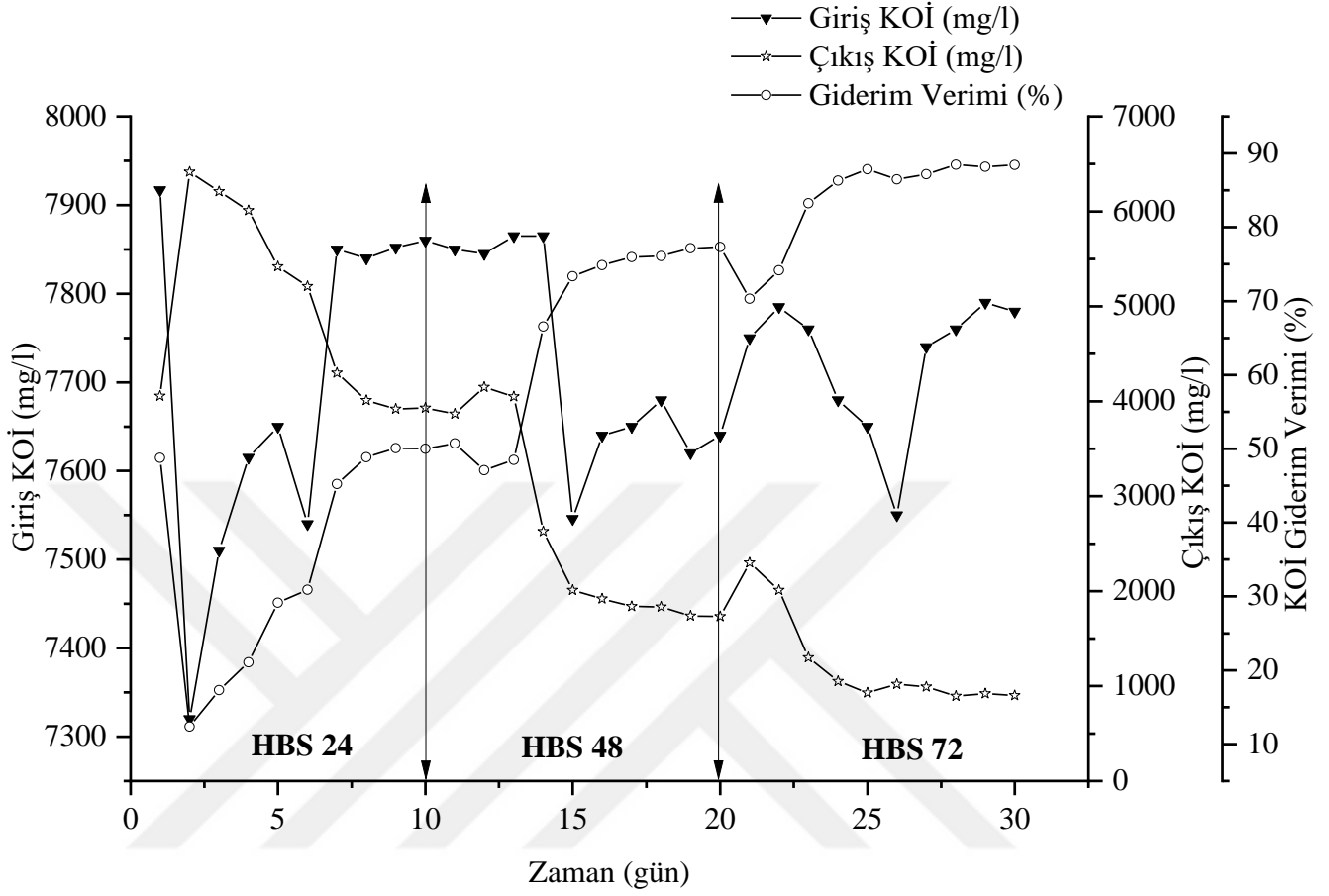
Elde edilen sonuçlara bağlı olarak anaerobik asidifikasyon reaktörü (2 litre aktif hacimli cam reaktör) için belirlenen alışma Şartları Şu Şekildedir; hidrolik bekletme süresi 0.5 gün (12 saat), pH 5.5-8 aralığında serbest bırakılmıştır. Hacimsel yükleme hızı 9267 mg KOİ/l-gün (HBS 2 gün)'den başlayıp 56161 mg KOİ/l-gün (HBS 8 saat) arasında değiştirilerek en yüksek asitleşmenin gerçekleştiği değerde reaktör hibrit UASB'ye çıkış sağlayacak Şekilde alışma boyunca çalıştırılmıştır.

Hibrit Anaerobik Yukarı Akışlı amur Yatağı (Hybrid UASB)

Hibrit reaktörün verimini incelemek amacıyla sistemde düzenli olarak giriş, çıkış akımında KOİ ve giriş akımında özünmüş KOİ analizleri yapılmıştır. Şekerleme endüstrisi atıksuyu genel yapısı itibarı ile toplam KOİ ile özünmüş KOİ'si arasında önemli bir fark yoktur. Çözünmüş KOİ'nin % 95'i özünmüş KOİ'den oluşmaktadır. Bu nedenle Giriş toplam KOİ'si ile süzölmüş KOİ aynı kabul edilmiştir. Hibrit UASB başlangıçta pH 6,5 civarında olan asidifikasyon reaktörü çıkışı ile beslenmiştir.

Geri Devirsiz Hibrit UASB alışması

Reaktör başlangıçta, geri devirsiz olarak çalıştırılarak yukarı akış hızı 0,016m/saat hesaplanmıştır. Geri devir debisinin giriş debisine olan oranı çalışmada esas alınmıştır. Örneğin reaktöre giriş debisinin %10'u geri devir debisi olarak alınmıştır. Geri devir bu tür reaktörlerde yukarı akış hızını arttırmak dolayısıyla çamur yatağının genişleyerek substrat – mikroorganizma etkileşimini arttırmak amacıyla yapılmaktadır. Bu kadar düşük yukarı akış hızı organik madde giderim veriminde oldukça düşmeye yol açmaktadır. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalarda özünmüş KOİ'nin artışı ve giderim verimindeki artış oldukça açık Şekilde görölmektedir[70]. Geri devirsiz çalıştırılan hibrit UASB'nin farklı hidrolik bekletme sürelerinde giriş – ıkış süzölmüş KOİ konsantrasyonları ve KOİ giderim verimi Şekil 11.3.'de görölebilir.

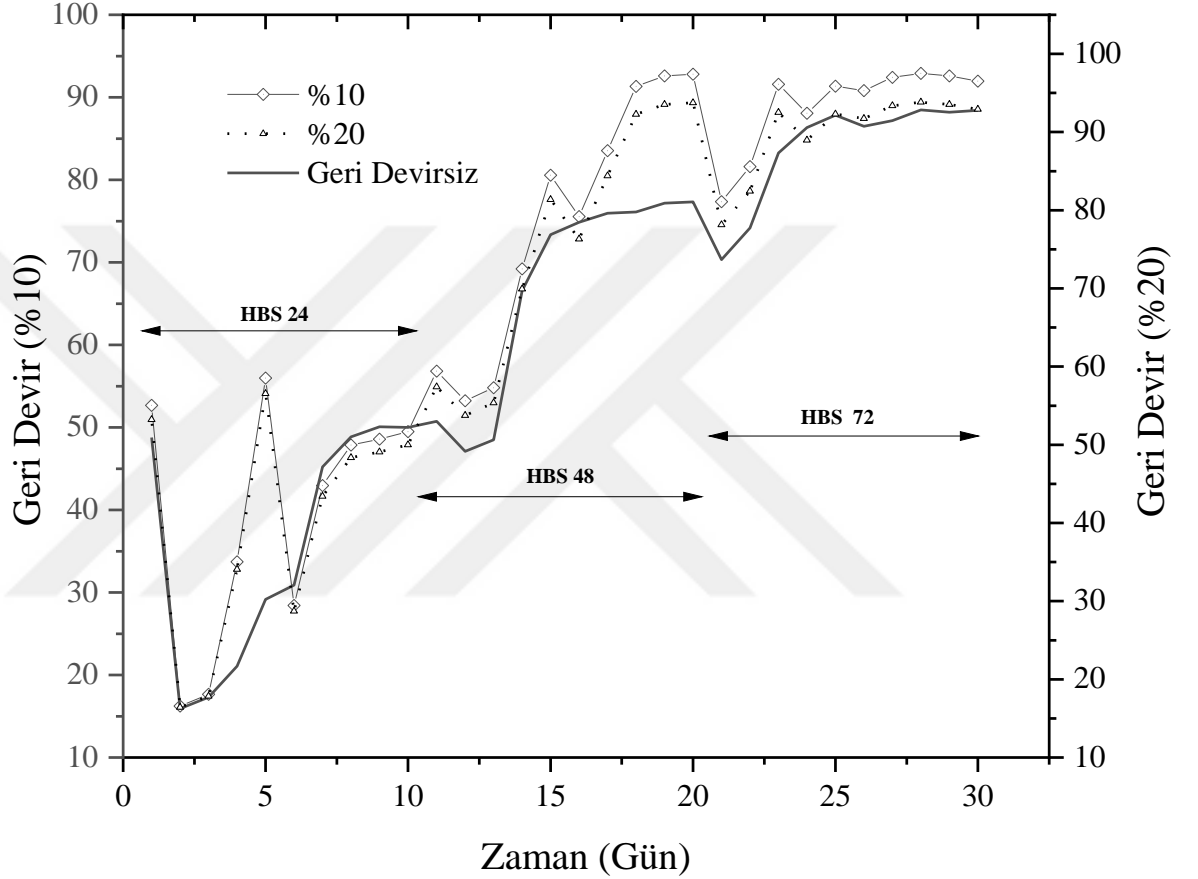


Şekil 4.3: Geri Devirsiz UASB reaktörde farklı HBS’de organik madde giderim verimi ve giriş-çıkış organik madde konstrasyonları .

Şekil 4.3.’den de görüleceği gibi 48 saat ve üstünde reaktörde organik madde giderim verimi istenen seviyelere yavaş yavaş çıkmaktadır. Ancak reaktör yüksek hızlı bir reaktör olması nedeni ile oldukça düşük bekleme sürelerinde (örn; 6 saate kadar) dahi yüksek organik madde giderim verimine sahip olması gerekir. Burada giderim verimi kararlı halde 24 saatlik HBS’de arıtma verimi % 50’lere zor çıkmıştır. Organik madde yükleme hızı (OYH) 24 saatlik bekleme süresinde $7,77 \text{ kg/m}^3\text{-gün}$ olarak belirlenmiş, ancak HBS (48 ve 72 saat için) yükseldikçe OYH (sırasıyla $3,85$ ve $2,53 \text{ kg/m}^3\text{-gün}$) düştüğü için arıtma verimi yükselmektedir. Verimin yükselmesi hidrolik bekleme süresinin düşmesine ancak reaktör hacminin artmasına neden olduğu için tavsiye edilen bir çalışma biçimi değildir.

Çeşitli Geri Devirlerde Hibrit UASB Çalışması

Geri devir debisi giriş debisine göre oranlanmış ve %10 ve %20 geri devir debileri çalışılacak debiler olarak belirlenmiştir. Şekil 4.3.1’de üç farklı HBS’de (24-72 saat) farklı geri devir debi oranına bağlı olarak organik madde giderim verimi görülebilir.



Şekil 4.3.1: Farklı geri devir oranlarına bağlı organik madde giderim verimi.

Geri devir oranı %10 ya da %20 (giriş debisinin %10'u) olduğunda geri devirsiz hibrit UASB'ye kıyasla düşük HBS süresi olan 24 saate oldukça giderim yaklaşık 2,5 kat daha yüksek giderim verimi elde edilmiştir. Aynı şekilde 48 saatlik bekleme sürelerinde giderim verimi %10-12 arasında giderim veriminde artış olmuştur. Son olarak çalışılan 72 saatlik bekleme süresinde bu iki geri devir oranı, geri devirsiz reaktöre göre %4-5 arasında giderim verimliliği farkı oluşmuştur.

Atıksuyun alındığı Şekerleme fabrikasında bulunan atıksu arıtma tesisinde bulunan yukarı akışlı çamur yatağında yaklaşık 33 saatte %75-80 arıtma verimi elde edilmekte ve çıkış aerobik biyolojik bir arıtma sistemi ile kanala deşarj standartları (1000 mg/l >) ancak karşılamaktadır. Çalıştığımız bu iki fazlı anaerobik arıtmada farklı bir biyolojik prosese gerek kalmadan istenilen kanal standartlarına ulaşılabilir. Toplamda organik madde giderimi %95'leri bulmakta ve anaerobik arıtmanın avantajlarını görmek mümkün olmaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Şekerleme endüstrisi atıksuyunun iki aşamalı anaerobik arıtımından uçucu yağ asidi üretimi ve hibrit UASB reaktör kullanılarak giderim verimi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Anaerobik asidifikasyon reaktörü ile yapılan sürekli çalışmalarda, Elde edilen sonuçlara bağlı olarak anaerobik asidifikasyon reaktörü (2 litre aktif hacimli cam reaktör) için belirlenen çalışma şartları şu şekildedir; hidrolik bekletme süresi 0.5 gün (12 saat), pH 5.5-8 aralığında serbest bırakılmıştır. Bu şart altında asitleşme yaklaşık %50 civarında olup, kısmi organik madde giderimi (%20-30 civarı) gerçekleşmiştir. Asidifikasyon reaktöründe asitleşme de atıksuyun yapısal olarak yağ, protein gruplarının bulunması asitleşme de önemli bir problem yaratmaktadır. İkinci aşamada bulunan hibrit UASB'ye asidifikasyonda optimum şartlarda işlenen atıksu verilmiştir. Hibrit reaktörde %20 geri devir debisinde 2 gün HBS'de %90'nın üzerinde organik madde giderimi sağlanmıştır. Mezofilik sıcaklık aralığında $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de pH kontrolsüz olarak çalıştırılan hibrit UASB'de organik yükleme hızı günlük 3,85 kg/m³ değerlerine ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Firidin, E., 2015 , Su Sorununun, Su Hakkı ve Su Etiği Çerçevesinde Değerlendirilmesi, Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 2.
- [2] Öktem Y.A., Mart 2013, İlaç Atıksularının Tek Ve İki Kademeli Anaerobik Arıtımında Sistem Performanslarının Karşılaştırılması, Doktora Tezi, İTÜ.
- [3] Havasız arıtma sistemleri ders notları, web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum07.pdf
- [4] Mittal,A., August 2011, Biological Wastewater Treatment, Water Today.
- [5] Öztürk İ., 2017, Atıksu Mühendisliği, Atıksu Miktar ve Özellikleri, Atıksu Mühendisliği, İSKİ Teknik Kitaplar Serisi, İstanbul, ISBN: 0000511-3, 18-19
- [6] Eckenfelder, Jr.,W., 1999, Industrial Water Pollution Control. McGraw-Hill. Science/Engineering 3 edition, USA.
- [7] Öztürk, İ., Timur H., Koşkan U., 2004. Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İTÜ. Atıksu Mühendisliği, İSKİ Teknik Kitaplar Serisi, İstanbul.
- [8] Özçelik, F., Mikroorganizma Gelişmesi 1, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü
- [9] Yüceer, S., 2006, Anaerobik Filtrelerde Giderme Kinetiğine Sıcaklığın Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [10] Korkut, Ş., Anaerobik Arıtım Sistemleri ders notları.
- [11] Atilla, B., Haziran, 2002,Biyolojik Arıtma Çamurlarının Anaerobik Çürütülmesi Ve Üst Suyun Map İle Çöktürülmesi İle Arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ.
- [12] Şahinkaya, E., Anaerobik Arıtım, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
- [13] Hungate, R.E., 1982. Methane Formation and Cellulose Digestion and Biochemical Ecology and Microbiology of the Rumen Ecosystem. Experimentia, Vol.38, p.189-192.
- [14] Wandrey, C. and Aivasidis, A., 2006, Continuous Anaerobic Digestion with *Methanosarcina barkeri*. Annals of the New York Academy of Sciences 413(1):489 – 500.
- [15] Cappenberg, E. Th. 1975, A Study of Mixed Continuous Cultures of Sulfate-Reducing and Methane-Producing Bacteria. Microbial ecology. 2. 60-72.
- [16] de Zweekuw W.,1988, Granular sludge in UASB-reactors. In: Lettinga G, Zehnder AJB, Grotenhuis JTC, Hulshoff Pol LW (eds) Granular anaerobic sludge; microbiology and technology. Pudoc, Wageningen, Netherlands, pp 132–145.

- [17] Robinson, J. A., and Tiedje, J. M., 1984, Competition between sulfate-reducing and methanogenic bacteria for H₂ under resting and growing condition. *Appl. Environ. Microbiol.* 44:1374–1384.
- [18] Pavlostathis, S.G. and Giraldo-Gomez, E., 1991, Kinetics of anaerobic treatment. *Wat.Sci. Tech.* Vol.24, No.8, pp.35-59.
- [19] Bryant MP, Boone DR.,1987, Isolation and characterization of *Methanobacterium formicicum* MF. *Int J System Bacteriol* 37:171.
- [20] Weimer PJ, Zeikus JG. 1978, . Acetate metabolism in *Methanosarcina barkeri*. *Arch Microbiol.*, 19(2):175-82
- [21] Öztürk, İ., 1999, Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- [22] Öztürk M., 2018, Atıksuların Havasız Şartlarda Arıtımı Esasları, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- [23] Yiliang, H., Pei, X, Chunjie, L, Zhang, B. 2005, High-concentration food wastewater treatment by an anaerobic membrane bioreactor. *Water research.* 39. 4110-8.
- [24] Yuceer, A., Sucu, Y.,Yüceer, N.S.,2007. Application of anaerobic filter reactors to wastewater treatment of seasonal settlements in mediterranean coast of Turkey. *Proceedings of the Second IASTED International Conference on Advanced Technology in the Environmental Field, ATEF 2006.* 19-24.
- [25] Cimochoicz-R., M., Rybicki, S, 2013 Application of respirometric tests for assessment of methanogenic bacteria activity in wastewater sludge processing. *Journal of Ecological Engineering.*, 14, 44-52.
- [26] Senturk, I, Buyukgungor H.,2013,Biohydrogen Production by Anaerobic Fermentation of Sewage Sludge-Effect of Initial pH. *Ekoloji* 22 (88), 1-12.
- [27] Bharathiraja, Dr.B.. 2018, Biogas production – A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 90.
- [28] Gupta, P.and Gupta, A.,2014, Biogas production from coal via anaerobic fermentation. *Fuel.* 118. 238–242.
- [29] Kasarcı, A. O., 2012, Yemekhane Ve Hayvan Atıklarından Bioenerji Geri Kazanımı. *Fen Bilimleri Enstitüsü İTÜ, İstanbul.*
- [30] Diamantis V. and Aivasidis A. 2010, Kinetic Analysis and Simulation of UASB Anaerobic Treatment of A Synthetic Fruit Wastewater. *Global NEST Journal*, Vol 12, No 2, pp 175-180,

- [31] Salem, A. H., Brunstermann, R., Mietzel, T., Widmann, R., 2018, Effect of pre-treatment and hydraulic retention time on biohydrogen production from organic wastes, 43, (10),pp 4785-5436.
- [32] Rinzema A., 1988, Anaerobic treatment of wastewater with high concentration of lipids or sulfate, PhD Thesis, Nederland.
- [33] Nigiz, F.U., 2018 A comparative study on the synthesis of ethyl propionate in a pervaporation membrane reactor. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 128, 173-179
- [34] Hazal, Y., 2014, Maya Proses Atıksuyundan Anaerobik Membran Biyoreaktör ile Uçucu Yağ Asidi Üretimi, Tez (Yüksek Lisans) -- İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [35] Aliplik A.,B., 2010, Şeker Endüstrisi Atık Sularının Kimyasal Koagülasyon Yöntemiyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi ve Optimum İşletim Koşullarının Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi
- [36] Dr Madelyn Johnstone-Robertson, 2017, Value recovery from confectionery waste, Food Waste Industry-meets-Science workshop, Centre for Bioprocess Engineering Research (CeBER) at the University of Cape Town (UCT).
- [37] Yıldız, G., 1995, Şekerleme Endüstrisi Atıksularının Biyolojik Arıtılabilirliğinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [38] Karagül, N., Şubat 2012, Şekerleme Endüstrisinde Proses ve Kirlenme Profili ile Arıtılabilirlik Bazlı Deneysel Karakterizasyon, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [39] Content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/78021/37045/şekerleme.pdf, Sakarya Üniversitesi Ders Notu, 9.12.2015
- [40] İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Su Ve Kanalizasyon İdaresi (İski) Genel Müdürlüğü,2013, Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği
- [41] Elgohary, F., Nasr, F., Aly, H., 1999, Cost-effective pre-treatment of food-processing industrial wastewater. Water Science and Technology, 40. 17-24.
- [42] Orhon, D., Yildiz, G., Çokgör, U, E., Sözen, S.,1995, Respirometric evaluation of the biodegradability of confectionary wastewaters, Water Sci Technol 32 (12): 11-19.
- [43] Diwani, G, El Abd, H., Hawash, S., El I.N., El Rafei, S. 2000, Treatment of Confectionery and Gum Factory Wastewater Effluent. Adsorption Science & Technology 18, 813-821.
- [44] Ozturk, I. & Altinbas, M., 2008, Kent Gıda Fabrikası Atıksu Arıtma Tesisi'nde Proses İyileştirmesi Projesi Nihai Raporu [TheProject of Process Improvement in the Treatment Plant of Kent Food Factory]. Istanbul Technical University, Istanbul.

- [45] Toröz, İ., Meriç, S., Çiner, F., Tayran, B.(1997). A Treability Study on Confectionery Industry Wastewater.
- [46] Tünay, O., Kabdaşlı, I., Orhon, D.,1995, Treatment of Confectionery Industry Wastewater.
- [47] Yıldız, G., 1995, Şekerleme Endüstrisi Atıksularının Biyolojik Arıtılabilirliğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [48] Cocci, A.A., Landine, R.C., Leodolter, M. and Beuttel, S.,1990, Case history: Anaerobic/aerobic pretreatment of a confectionery waste; Proc. 44th Ind. Waste Cong. Purdue Univ. West Lafayette, Ind., USA.
- [49] Sharma, S.,2014., Microbial Fuel Cells for Wastewater Treatment. 10.1007/978-3-319-09287-4_18.
- [50] El- Kassas, H., Heneash, A, Hussein, Nabila R. 2015, Cultivation of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* using confectionery wastes for aquaculture feeding. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology.
- [51] Diwan, I., 2014, Understanding Revolution in the Middle East: The Central Role of the Middle Class. Middle East Development Journal. 5. 1350004-1.
- [52] Yogeswari, Dr. M., Ronald Ross, P., , Mullai P., 2014, Challenges in Biochemical Engineering and Biotechnology for Sustainable Environment Batch Kinetic Modelling of Hydrogen Production using Confectionery Wastewater. International Journal of ChemTech Research. 6. 974-4290.
- [53] Huang, X, Xiao K, Shen Y, 2010, Recent advances in membrane bioreactor technology for wastewater treatment in China, Front.Envirn.Sci.Eng. Vol. 4 (3) 245-271.
- [54] Standart Methods for Examination of Water and Wastewater. 1995. 19th Ed., APHA, AWWA, WEF, Washington, DC. USA
- [55] E. Alkaya, G.N Demirer.,2011, Anaerobic acidification of sugar-beet processing wastes: effect of operational parameters., Journal Biomass and Bioenergy 35(1), 32-39.
- [56] M.T. Agler, B.A. Wrenn, S.H. Zinder, L.T. Angenent, 2011, Waste to bioproduct conversion with undefined mixed cultures: the carboxylate platform, Trends Biotechnol. 29, 70–78.
- [57] Chang H.N., Kim, J. N.-J. Kang, C.M.,2010, Jeong, Biomass-derived volatile fatty acid platform for fuels and chemicals, Biotechnol. Bioprocess Eng. 15 1–10.
- [58] Ferrer, P., Cambra-López, M., Cerisuelo, A., Peñaranda, D.S., Moset, V., 2014, The use of agricultural substrates to improve methane yield in anaerobic co-digestion with pig slurry: effect of substrate type and inclusion level, Waste Manage.34, 196–203.

- [59] Kim, H., Moon, S., Abug, A., Choi, S.-C., Zhang, R., Oh, 2012, Effect of fermentation conditions on biohydrogen production from lipid-rich food material, *Int. J. Hydrogen Energy* 37, 15062–15069.
- [60] Miron, Y., Zeeman, G., Van Lier, J.B., Lettinga, G. 2000, The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems, *Water Res.* 34 1705–1713.
- [61] Alvarez, Mata J. Dosta, Romero-Güiza, M.S. X. Fonoll, M. Peces, S. Astals, A., 2014, critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 36 412–427.
- [62] Rossi, R., Pastorelli, G., Cannata S., Corino, C., Recent advances in the use of fatty acids as supplements in pig diets: a review, *Anim. Feed Sci. Technol.* 162 1–11.
- [63] P. Liu, L.R. Jarboe, 2012, Metabolic engineering of biocatalysts for carboxylic acids production, *Comput. Struct. Biotechnol. J.* 3 1–9.
- [64] Shahid, F., *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. 2005, *Edible Oils and Fat Products: Chemistry, Properties, and Health Effects*, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, 1, pp. 629.
- [65] Pan, J., Zhang, R., El-Mashad, H., Sun, H., Ying, Y., 2008, Effect of food to microorganism ratio on biohydrogen production from food waste via anaerobic fermentation, *Int. J. Hydrog. Energy* 33 6968–6975.
- [66] Chen, Y., Jiang, S., Yuan, H., Zhou, Q., Gu, G., 2007. Hydrolysis and acidification of waste activated sludge at different pHs. *Water Res.* 41 (3), 683–689.
- [67] Zhao, J., Wang, D., Li, X., Yang, Q., Chen, H., Zhong, Y., Zeng, G., 2015, Free nitrous acid serving as a pretreatment method for alkaline fermentation to enhance short-chain fatty acid production from waste activated sludge. *Water Res.* 78, 111–120.
- [68] Yuan, H., Chen, Y., Zhang, H., Jiang, S., Zhou, Q., Gu, G., 2006. Improved bioproduction of short-chain fatty acids (SCFAs) from excess sludge under alkaline conditions. *Environ. Sci. Technol.* 40 (6), 2025–2029.
- [69] Sanjoy K. Bhattacharya and Gene F. Parkin. (1989), *The Effect of Ammonia on Methane Fermentation Processes*. *Journal Water Pollution Control Federation.* 61, 1, pp. 55-59.
- [70] Zinatizadeh, A.A., Mohammadi, P., Mirghorayshi, M., Ibrahim, S., Younesi, H., Mohamed. A.R., 2017, An anaerobic hybrid bioreactor of granular and immobilized biomass for anaerobic digestion (AD) and dark fermentation (DF) of palm oil mill effluent: Mass transfer evaluation in granular sludge and role of internal packing. *Biomass and Bioenergy* 103.

EKLER



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	BAŞAK BERNA PALABIYIK
Doğum Yeri	KADIKÖY
Doğum Tarihi	29.04.1993
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	basakbernaa@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Çevre Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Çevre Mühendisliği

Makale ve Bildiriler
Palabiyik B.B. , Öktem Y.A., "Comparing the European Union and Turkey Plastic Recycling Strategy", 4th International Conference on Recycling and Reuse, İSTANBUL, TÜRKİYE, 24-26 Aralık 2018, pp.282-282
Palabiyik B.B. , Selçuk H., Öktem Y.A., "Cadmium Removal Using Potato Peels as Adsorbent; Kinetic Studies", 4th International Conference on Recycling and Reuse, İSTANBUL, TÜRKİYE, 24 Ekim - 26 Aralık 2018, pp.306-306
Öktem Y.A., Palabiyik B.B. , Selçuk H., "Removal of color and organic matter from textile wastewaters using different anaerobic processes", 4th International Conference on Recycling and Reuse, İSTANBUL, TÜRKİYE, 24-26 Ekim 2018, pp.284-284
Palabiyik B.B. , Öktem Y.A., "Biodegradation Studies of Waste Plastics", International Congress of New Approaches Technologies for Sustainable Development , ISPARTA, TÜRKİYE, 21-24 Eylül 2017, pp.134-134
Mertoğlu E. , Korkut S. , Berna B. , Öktem Y.A., "Enerji Kaynağı olarak Gübrenin Türkiye'deki Yeri ", 7.Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi UKAY 2015 , GAZİANTEP, TÜRKİYE, 14-16 Ekim 2015, ss.33-33
Palabiyik B.B. , Bekbenbetova K. , Öktem Y.A., "Sığır Gübresi Kullanılarak Anaerobik Bir Reaktörde Biyolojik Hidrojen Üretimi ", 7.Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi UKAY 2015, GAZİANTEP, TÜRKİYE, 14-16 Ekim 2015, ss.56-56