İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEMEKHANE VE HAYVAN ATIKLARINDAN BİOENERJİ GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Onur KASARCI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

ŞUBAT, 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YEMEKHANE VE HAYVAN ATIKLARINDAN BİOENERJİ GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali Onur KASARCI
(501091763)

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Mahmut ALTINBAŞ

ŞUBAT, 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091763 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ali Onur K ASARCI** ilgili y önetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"Yemekhane Ve Hayvan Atıklarından Bionerji Geri Kazanımı "** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Yrd. Doç. Mahmut ALTINBAŞ** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Orhan İNCE** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Turgut T. ONAY Boğaziçi Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 6 Mayıs 2011
Savunma Tarihi : 24 Şubat 2012

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki değerli katkıları, çalışmam boyunca gösterdiği ilgi ve desteği sebebiyle danışman hocam Yrd. Doç. Mahmut ALTINBAŞ'a hocama teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam boyunca sürekli değerli bilgilerine başvurduğum, desteğini, ilgisini ve dostluğunu esirgemeyen, çalışma arkadaşım Bahar DİCLE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman yanımda olan, bana inanan, güvenen ve de stekleyen BABAMA, KARDEŞİME ve gerektiğinde benimle birlikte çalışan ANNEME sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2012

Ali Onur KASARCI
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ……..…….....vii
İÇİNDEKİLER…….….ix
KISALTMALAR…….…….xi
ÇİZELGE LİSTESİ…….xiii
ŞEKİL LİSTESİ……....xv
ÖZET…….....xix
SUMMARY…….....xii
1. GİRİŞ **1**
1.1 Konunun Önemi 1
1.2 Tezin Amaç ve Kapsam 4
2. ANAEROBİK ARITMA **5**
2.1 Anaerobik Çürüme 5
2.1.1.1 Hidroliz..... 6
2.1.1.2 Asit üretimi 8
2.1.1.3 Asetat üretimi 11
2.1.1.4 Metan üretimi..... 11
2.2 Hidrojen Üretimi 13
2.3 Anaerobik Arıtmanın Avantajları ve Dezavantajları..... 17
2.4 Anaerobik Arıtma İçin Optimum Çevre Şartları..... 18
2.5 Anaerobik Fermantasyon Mikrobiyolojisi 19
2.6 Anaerobik Ayrışmayı Etkileyen Faktörler..... 20
2.6.1 Besleme fraksiyonu..... 20
2.6.2 pH ve sıcaklık..... 25
2.6.3 Organik yükleme hızı..... 26
2.6.4 Hidrolik bekletme süresi 27
2.6.5 C/N oranı..... 28
2.6.6 Toksisite 28
2.7 Anaerobik Arıtmada Tek ve İki Kademeli Sistemler..... 29
3. MATERYAL VE METOD..... **3**1
3.1 Çevrim İçi Performans 33
3.2 Aşı Karakterizasyonu 33
3.3 Atık Karakterizasyonu..... 34
3.4 Deneysel Düzenek..... 35
3.5 Proses Akım Şeması..... 38
3.6 Reaktörlerin İzlenmesi 40
3.6.1 Sabit aşı/substrat ve farklı hayvan – yemekhane atığı oranlarında biyogaz üretim hızı ve potansiyeli 41
3.6.2 Farklı aşı/substrat oranları ve sabit hayvan – yemekhane atığı oranları…..
……..42

3.6.3 Farklı atık karışımı aşı/substrat çalışmasında kullanılan serum şişelerinin hazırlanması....42
3.7 Analitik Yöntemler....44
4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLME 47
4.1 İki Kademeli İşletilen Aşırı Termofilik Biyohidrojen+Mezofilik Biyometan Sisteminin İncelenmesi....47
4.2 Tek Kademeli İşletilen Aşırı Termofilik Biyometan Sisteminin İncelenmesi..62
4.3 Çevrim İçi Performans Değerlendirmesi....77
4.3.1 2.Dönemde yapılan çevrim içi performans değerlendirmesi 77
4.3.1.1 Çevrim içi performans çalışmasında iki kademeli işletilen aşırı termofilik biyohidrojen + mezofilik biyometan sisteminin incelenmesi ……77
4.3.1.2 Çevrim içi performans çalışmasında iki kademeli işletilen aşırı termofilik biyohidrojen + mezofilik biyometan sisteminin incelenmesi ……84
4.4 Farklı Aşı /Substrat (I/S) ve Farklı Büyükbaş Hayvan Atığı- Yemekhane Atığı Oranlarında Yapılan Çalışma……88
4.4.1 %6 katı madde miktarı oranı ile yapılan farklı aşı /substrat ve farklı büyükbaş hayvan atığı- yemekhane atığı çalışması……..88
4.4.1.1 İki kademeli işletilen aşırı termofilik biyohidrojen + mezofilik biyometan sisteminin incelenmesi……..88
4.4.1.2 Tek kademeli ışletilen aşırı termofilik biyometan sisteminin incelenmesi…….99
5. SONUÇ VE ÖNERİLER……...105
KAYNAKLAR……...107
ÖZGEÇMİŞ……....111

KISALTMALAR

$KOİ_{çöz}$	: Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı
$KOİ_{top}$	: Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı
kPa	: Kilopascal
GC	: Gaz Kromotograf
OYH	: Organik Yükleme Hızı
SGÜ	: Spesifik Gaz Üretimi
ΔG	: Gibss Serbest Enerjisi
EOKA	: Evsel Organik Katı Atık
C/N	: Karbon Azot Oranı
TKM	: Toplam Katı Madde
TUKM	: Toplam Uçucu Katı Madde
TUYA	: Toplam Uçucu Yağ Asitleri
UZYA	: Uzun Zincirli Yağ Asitleri
ADP	: Adenozin Difosfat
ATP	: Adenozin Trifosfat
TUA	: Toplam Uçucu Asit
UYA	: Uçucu Yağ Asidi
TUA	: Toplam Uçucu Asit
BH70	: 70 derece Biyohidrojen Reaktörü
BM70	: 70 derece Biyometan Reaktörü
BHM35	: 35 derece Biyometan Reaktörü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Substratlar için hidroliz oranları 7
Çizelge 2.2 : Çeşitli ürünler ile üretilen metan ve serbest enerjileri 12
Çizelge 2.3 : Anaerobik arıtmanın avantaj ve dezajantajları 17
Çizelge 2.4 : Anaerobik arıtma için optimum çevre şartları 19
Çizelge 2.5 : Başlıca anaerobik mikroorganizma grupları 19
Çizelge 2.6 : Anaerobik çürütme proseslerinde ağır metallerin çözülebilir zehirlilik seviyeleri 29
Çizelge 2.7 : Anaerobik arıtmada görülen ağır metaller 29
Çizelge 2.8 : Anaerobik reaktörlerde tek ve iki kademeli işletmenin karşılaştırılması arıtmanın avantaj ve dezajantajları 30
Çizelge 3.1 : Çevrimiçi numune alınma zamanları 33
Çizelge 3.2 : Reaktörlerde kullanılan aşı tipleri 34
Çizelge 3.3 : Aşı karakterizasyonu 34
Çizelge 3.4 : Atık karakterizasyonu 35
Çizelge 3.5 : İşletme süresi boyunca reaktörlerin durumu 37
Çizelge 3.6 : Reaktörler ve kısa isimleri 38
Çizelge 3.7 : Numune alma sıklığı 40
Çizelge 3.8 : Numunelerde yapılan ölçüm sıklıkları 40
Çizelge 3.9 : Anaerobik mineral çözelti bileşimi 43
Çizelge 3.10 : Numunelerin analizi için kullanılan ölçüm yöntemleri 46
Çizelge 4.1 : Literatürde görülen organik madde giderim değerleri 50
Çizelge 4.2 : BH70 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler 70
Çizelge 4.3 : BHM35 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler 72
Çizelge 4.4 : BM70 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler……..... 75
Çizelge 4.5 : BH70 reaktörü UYA analizi giriş değerleri ..……..……..94
Çizelge 4.6 : BHM35 reaktörü UYA analizi giriş değerleri ...……..……..94
Çizelge 4.7 : BH70 reaktörü UYA analizi çıkış değerleri ..……..……..95
Çizelge 4.8 : BHM35 reaktörü UYA analizi çıkış değerleri ……..……..……...95
Çizelge 4.9 : BH70 reaktöründe üretilen H_2 miktarı ..……..…….....97
Çizelge 4.10 : BHM35 reaktöründe üretilen CH4 miktarı …….....98
Çizelge 4.11 : BM70 reaktörü UYA analizi giriş değerleri ……..……..102
Çizelge 4.12 : BM70 reaktörü UYA analizi çıkış değerleri ……...……102
Çizelge 4.13 : BM70 reaktöründe üretilen CH_4 miktarı …….……...104

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : EOKA ile birlikte arıtım prensibi 2
Şekil 2.1 : Anaerobik çürütmede madde dönüşümü ve reaksiyon son ürün oluşumu. ……..5
Şekil 2.2 : Anaerobik ayrışmanın aşamaları 6
Şekil 2.3 : Glikozun laktata dönüşümü 9
Şekil 2.4 : Glikozun etanole dönüşümü 9
Şekil 2.5 : Glikozun bütirata dönüşümü 10
Şekil 2.6 : Glikozun asetata dönüşüm yolu 10
Şekil 2.7 : Anaerobik çürümenin basamakları 11
Şekil 2.8 : Hidrojenin ve asetik asitin metana dönüşüm yolu 13
Şekil 2.9 : Serbest Gibbs enerjisinin sıcaklık ve hidrojen basıncına göre değişimi ……..15
Şekil 2.10 : Hidrojen verimi- pH ilişkisi 16
Şekil 2.11 : Hidrojen üretiminde pH değerlerinin etkisi 16
Şekil 2.12 : Anaerobik parçalanmada görev alan baskın mikroorganizma türleri 20
Şekil 2.13 : Karbonhidratların fermantasyonu 21
Şekil 2.14 : Gliserol ve yağ asidinin genel iskelet formülü 22
Şekil 2.15 : Lipitlerin fermantasyonu 22
Şekil 2.16 : Proteinlerin fermantasyonu 23
Şekil 2.17 : Lignoselülozun hidrolizi 24
Şekil 2.18 : Metan bakterilerinin aktivite değişimi. 25
Şekil 2.19 : Sıcaklığın mikroorganizmaların çoğalmaları üzerine olan etkisi 26
Şekil 3.1 : 70 ±1^{o}C Biyohidrojen ve Biyometan Reaktörleri 32
Şekil 3.2 : 35±1^{o}C Biyometan Reaktörü 32
Şekil 3.3 : Reaktörlerin şematik çizimi 39
Şekil 3.4 : Mezofilik ve termofilik şartlar altında tutulan şişeler 42
Şekil 3.5 : Ölçümlerde kullanılan pH metre 45
Şekil 3.6 : Reaktörlere bağlı balonların gazının ölçülmesi için kullanılan gazmetre. 45
Şekil 4.1 : BH70 reaktöründeki KM'nin zamana bağlı olarak değişimi 48
Şekil 4.2 : BHM35 reaktöründeki KM'nin zamana bağlı olarak değişimi 48
Şekil 4.3 : BH70 reaktöründe UKM'nin zamana bağlı olarak değişimi 49
Şekil 4.4 : BHM35 reaktöründeki UKM'nin zamana bağlı olarak değişimi……...49
Şekil 4.5 : BH70 reaktöründeki KOİ'nin zamana bağlı olarak değişimi 51
Şekil 4.6 : BHM35 reaktöründeki KOİ'nin zamana bağlı olarak değişimi 52
Şekil 4.7 : BH70 reaktöründeki KOİçöz'nin zamana bağlı olarak değişimi 53
Şekil 4.8 : BHM35 reaktöründeki KOİçöz'nin zamana bağlı olarak değişimi 53
Şekil 4.9 : BH70 reaktöründeki alkalinitenin zamana bağlı olarak değişimi 54
Şekil 4.10 : BHM35 reaktöründeki alkalinitenin zamana bağlı olarak değişimi 55
Şekil 4.11 : BH70 reaktöründeki pH'ın zamana bağlı olarak değişimi 56

Şekil 4.12 : BHM35 reaktöründeki pH'ın zamana bağlı olarak değişimi 56
Şekil 4.13 : BH70 reaktöründeki üretilen gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi 57
Şekil 4.14 : BHM35 reaktöründeki üretilen gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi 58
Şekil 4.15 : BH70 reaktöründeki üretilen hidrojen gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi 59
Şekil 4.16 : BHM35 reaktöründeki üretilen metan gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi 60
Şekil 4.17 : BH70 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı olarak değişimi. 60
Şekil 4.18 : BHM35 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı olarak değişimi..... 61
Şekil 4.19 : BM70 reaktöründeki KM'nin zamana bağlı olarak değişimi..... 62
Şekil 4.20 : BM70 reaktöründeki UKM'nin zamana bağlı olarak değişimi..... 62
Şekil 4.21 : BM70 reaktöründeki KOİ'nin zamana bağlı olarak değişimi 63
Şekil 4.22 : BM70 reaktöründeki KOİçöz'nin zamana bağlı olarak değişimi..... 64
Şekil 4.23 : BM70 reaktöründeki alkalinitenin zamana bağlı olarak değişimi..... 65
Şekil 4.24 : BM70 reaktöründeki pH'ın zamana bağlı olarak değişimi 66
Şekil 4.25 : BM70 reaktöründeki üretilen gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi 67
Şekil 4.26 : BM70 reaktöründeki üretilen metan gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi 68
Şekil 4.27 : BM70 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı olarak değişimi..... 69
Şekil 4.28 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı %KM değişimi 77
Şekil 4.29 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı %KM değişimi 78
Şekil 4.30 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı %UKM değişimi 78
Şekil 4.31 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı %UKM değişimi 79
Şekil 4.32 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı KOİ değişimi 79
Şekil 4.33 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı KOİ değişimi 80
Şekil 4.34 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi 80
Şekil 4.35 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi 81
Şekil 4.36 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı gaz miktarı değişimi 81
Şekil 4.37 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı gaz miktarı değişimi 82
Şekil 4.38 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı pH değişimi 82
Şekil 4.39 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı pH değişimi 83
Şekil 4.40 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı değişimi 83
Şekil 4.41 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı değişimi 84

Şekil 4.42 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki KM%'nin zamana bağlı değişimi 84
Şekil 4.43 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki UKM%'nın zamana bağlı değişimi 85
Şekil 4.44 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki KOİ'nin zamana bağlı değişimi 85
Şekil 4.45 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki $KOİ_{çöz}$ 'nin zamana bağlı değişimi 86
Şekil 4.46 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki gaz miktarının zamana bağlı değişimi 86
Şekil 4.47 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki pH'nın zamana bağlı değişimi 87
Şekil 4.48 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı değişimi 87
Şekil 4.49 : %6 katı madde miktar ile BH70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KM değişimi 89
Şekil 4.50 : %6 katı madde miktar ile BHM35 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KM değişimi 89
Şekil 4.51 : %6 katı madde miktar ile BH70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı UKM değişimi 90
Şekil 4.52 : %6 katı madde miktar ile BHM35 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı UKM değişimi 90
Şekil 4.53 : %6 katı madde miktar ile BH70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KOİ değişimi 91
Şekil 4.54 : %6 katı madde miktar ile BHM35 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KOİ değişimi 92
Şekil 4.55 : %6 katı madde miktar ile BH70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi 93
Şekil 4.56 : %6 katı madde miktar ile BHM35 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi 93
Şekil 4.57 : BH70 aşısı için farklı substrat ve farklı aşı/substrat oranlarında hidrojen gazı üretimleri 96
Şekil 4.58 : BHM35 aşısı için farklı substrat ve farklı aşı/substrat oranlarında hidrojen gazı üretimleri 97
Şekil 4.59 : %6 katı madde miktar ile BM70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KM değişimi 99
Şekil 4.60 : %6 katı madde miktar ile BM70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı UKM değişimi 99
Şekil 4.61 : %6 katı madde miktar ile BM70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KOİ değişimi 100
Şekil 4.62 : %6 katı madde miktar ile BM70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi 101
Şekil 4.63 : BM70 aşısı için farklı substrat ve farklı aşı/substrat oranlarında hidrojen gazı üretimleri 103

YEMEKHANE VE HAYVAN ATIKLARINDAN BİYOENERJİ GERİ KAZANIMI

ÖZET

Günümüzde atık kavramının değiştiği gözlenmekte ve atığın sürdürülebilirliği olan, geri kazanılabilir bir kaynak haline geldiği gözlenmektedir. Eğer bu boyutta katı atık ele alınırsa, gerek içeriği gerek özelliği bakımından yüksek verimde geri kazanım söz konusu olmaktadır. İnsanların artan ihtiyaçları karşısında, enerji gereksinimi ve çevre sorunları giderek artış göstermiş ve büyük bir problem haline gelmiştir. Hem insanların ihtiyaç duyduğu enerji gereksinimlerini karşılamak, hem de çevre sorunlarının önüne geçmek, ülkemizi ve dünyayı daha yaşanılabilir bir hale getirmek için katı atıklardan yararlanılmalıdır.

Bu ne denle ka tık atık yönetiminin daha kapsamlı geri kazanımı içeren bir ha le getirilmesi söz konusudur. Türkiye'de çok yaygın olarak gözlenen büyükbaş hayvancılığından ve yemekhane atıklarında elde edilen katı atıklar biyolojik olarak parçalanabilir maddeler içermektedir.

Katı madde içeren bu iki farklı atık türünün özellikle birlikte arıtılması ile bu atıkların değerlendirilebilen birer atık oldukları ve ayrıca atık stabilizasyonun sağlanabilmesinin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır. Büyükbaş hayvan atığının yüksek t amponlama ka pasitesine sahip olup, bir ön arıtım ile hidroliz yapılırsa yüksek ayrışma kapasitesine sahip olur.

Yemekhane atıkları ise, düşük tamponlama kapasitesine sahip olup, kolay ayrışabilmekte ve biyogaz elde etme verimi yüksek olmaktadır. Düşük tamponlama kapasitesinden dolayı asitleşme ile karşı karşıya kalınmaktadır. İki atığın bu özellikleri göz önüne alınarak birlikte arıtıldıklarında, birbirlerini tamamladıkları ve sistemin performansını arttırdığı gözlenmektedir.

Bu çalışmada hayvan ve yemekhane atığı karışımlarının farklı işletme koşullarında metan ve hidrojen geri kazanımını sağlayacak anaerobik koşullarda arıtımı incelenerek, sistem performansının ortaya konmuştur.

Reaktöre beslenen organik atık İstanbul Teknik Üniversitesi yemekhanesinden alınan yemek atığından oluşmuş ve atığın beslemeye elverişli olabilmesi ve nispeten homojen olabilmesi için önceden mekanik ön işlemden geçirilerek ezilip karıştırılmak suretiyle partikül boyutu küçültülmüştür. Büyükbaş hayvan atığı direk olarak taze şekilde alınmış ve hiçbir ön işlemden geçirilmeden reaktörelere beslenmiştir. Her iki atık türü de +4 ℃'de muhafaza edilmiştir. Reaktörlere beslenen atık türü, öğütülmüş yemekhane atığı ve büyükbaş havyan atığı karışımıdır.

Çalışmada farklı özellikteki Kent Gıda, Biyometan, Biyohidrojen, Mey içki anaerobik aşıları kullanılmıştır. Kent Gıda aşısı benzer atık tipinin arıtımı için işletilen Kent Gıda şeker ve gıda üretim fabrikasından sağlanmıştır.

Biyometan ve Biyohidrojen aşıları ise İstanbul Teknik Üniversitesi Katı Atık Laboratuvarında işletilen Biyometan ve Biyohidrojen reaktörlerinden alınmıştır. Mey aşısı ise alkollü içecekler üreten Mey içki Sanayi fabrikasından alınmıştır.

Bu sistemlerin aşı/substrat oranı sabit tutulup, farklı katı madde oranlarında (%1.7, 3, 6) havyan ve yemekhane atıkları birlikte arıtılarak sistemin performansı incelenmiş, en uygun katı madde oranını saptanmıştır.

Ayrıca yapılan diğer bir çalışmada ise; farklı aşı /substrat (1:2, 1, 3:2, 2, 3) ve farklı büyükbaş hayvan-yemekhane atığı karışım (100:100, 75: 25, 50: 50, 25: 100, 0: 100) oranları kullanılıp, sistemin performansı incelenmiş ve en uygun karışım ve aşı/substrat oranı saptanmıştır.

Bu amaçla atık karışımı iki ayrı akımda arıtılmıştır. Birinci akımda tek kademeli olarak aşırı termofilik (70^oC)'de işletilen reaktörden sadece metan üretimi yapılmıştır.

Diğer akımda ise iki kademeli olarak 70^oC ve $35\ ^oC$' de işletilen reaktörlerin, ilk kademesinde hi drojen ür etimi iki nci ka demesinde is e me tan üretimi gerçekleştirilmiştir.

BH70 ve B HM35 r eaktöründe yüksek ve rimler e lde e dilirken, B M70 r eaktöründe elde edilen verim ve metan gazı üretim seviyesi istenilen seviyeye ulaşmamıştır.

Reaktörlerden her 2 günde 1 numune alınmıştır. Alınan numuneler, reaktörlere giriş ve reaktörlerden çıkış şeklinde olmak üzere iki farklı şekilde, giriş numunesi alındığı gün çıkış numunesi alınmamış, tam tersi olarak çıkış numunesi alındığı gün giriş numunesi alınmamıştır. Bu durumda ise her bir giriş ve çıkış numunesi ortalama 4'er günde 1 numune alınmıştır.

Yapılan analizler sonuçlarına dayanarak iki kademeli olarak işletilen BH70+BHM35 reaktörleri ve tek kademeli olarak işletilen BM70 reaktörü ile karşılaştırmalı önemli sonuçlara ulaşılmıştır. BH70 reaktörü için en yüksek UKM giderim verimi %2, KOİ giderim verimi %4 değerleri elde edilmiştir.

BHM35 reaktöründe ise en yüksek metan gazı üretimi 2397 mL CH4/gün, UKM giderim verimi %20, KOİ giderim verimi %20 değerleri elde edilmiştir. BH70 reaktöründe gözlendiği gibi BHM35 reaktörününde de en yüksek değerler 3. dönemde elde edilmiştir. BM70 reaktöründe ise en yüksek metan gazı üretimi 811 mL CH4/gün, UKM giderim verimi %13, KOİ giderim verimi %14 değerleri elde edilmiştir. Bu değerler, organik atığın metan üretim potansiyeli açısından oldukça düşüktür.

Çalışmanın ilk kısmında Aşı/Substrat oranları 1:2, 1, 3:2, 2, 3 olarak hayvan ve yemekhane atığı oranları ise 1:1 olarak alınmıştır. Yine aynı çalışmanın diğer kısmında ise aşı/substrat oranı sabit tutulmuş, hayvan ve yemekhane oranı ise 100:100, 75: 25, 50: 50, 25:100, 0:100 olarak alınmıştır. 2. Kademe için ise farklı aşı/substrat, oranı için en yüksek verim aşı/substrat oranı 3, yemekhane ve hayvan atığı oranı 1:1 iken elde edilmiştir. BH70 ve BHM35 reaktöründe yüksek verimler elde edilirken, B M70 r eaktöründe elde edilen verim ve metan gazı üretim seviyesi istenilen seviyeye ulaşmamıştır.

Bu noktada iki kademeli olarak işletilen sistemin, tek kademeli olarak işletilen sisteme kıyasla daha iyi ve yüksek verim alındığı söylenebilmektedir. İki ademeli sistemde ekl enen ton UKM başına 88 m^3 H_2 ve 742 m^3 CH_4 elde e tmek m ümkün görünmektedir.

İki kademeli sistem ile anaerobik arıtma sürecinin farklı adımlarında gerçekleşen reaksiyonlar, ayrı ayrı reaktörlerde optimize edilmiştir, böylece reaksiyon hızı ve biyogaz miktarı arttırılabilir. Ayrıca iki kademeli sistem ile yüksek oranda metan üretiminin yanında günümüzde temiz enerji kaynaklarından biri olarak adlandırılan hidrojen de üretilerek önemli bir üstünlük sağlanmaktadır.

BIOENERGY RECOVERY FROM DINING HALLS WASTE AND CATTLE MANURE

SUMMARY

Today ,the concept of waste has been changing and waste is becoming a source which is sustainable and reusable. High recovery rates are observed in case solid waste recovery due to its propery and energy content.

On the basis of growing needs of people, energy demand and enviromental problems have been increased and become a major problem. Solid waste shall be utilized to meet energy needs of people, to prevent enviromental problems and also to make our country and world more livable.

Therefore, solid waste management has been more comprehensive day by day. Solid wastes which are produced as result of livestock industry and food wastes produced in cafeterias contains easily biodegradable substances.

Treatmenf of livestock industry and food wastes in same system indicates that solid waste can be reused and stabilization of these kind of waste is also applicable. Livestock industry waste has high buffer capacity and when it is treated with acids it has high biodegredability capacity.

On the other hand , halls waste which is easily biodegredable has low buffer capacity and high biogas production yield. During biogas production , acidification is one of the problem which is caused by low buffer capacity.

The two different property of livestock industry and halls waste eliminates individual disadvanteges of waste and increase in system performance is observed during study.

In this study, the treatment of the mixture of cattle manure and halls waste in different operating conditions to ensure recovery of methane and hydrogen under anaerobic conditions is examined and system performance is presented.

The organic waste consisted of Istanbul Technical University halls waste was crushed and mixed in particle size by mechanical pre-treatment to make it suitable for feeding to reactor and relatively homogenous. Fresh cattle waste was taken and fed to reactors without any pre-treatment. The type of waste that fed reactors was a mixture of cattle manure and milled halls waste and kept on +4℃ .

In the study, anaerobic inoculums of Kent Gıda, Biomethane, Biohydrogen, Mey İçki in different characteristics were used. Kent Gıda inoculum was provided from Kent Gıda sugar and food production plant that was operated for treatment of similar waste type.

Biomethane and bi ohydrogen i noculums w ere pr ovided f rom bi omethane a nd biohydrogen r eactors operated i n Istanbul Tecnical U niversity S olid Waste Laboratory. Mey inoculum was provided from Mey İçki beverage plant that produces alcoholic beverages

Inoculum/substrate ratios on t hose systems are kept constant, the cattle manure and halls waste are treated together in different rates of solids (%1.7, 3, 6) to examine the system performance and the most suitable ratio of solid matter is determined.

In addition, di fferent i noculum/substrate (1:2, 1 , 3: 2, 2, 3) a nd di fferent r atios of cattle m anure a nd ha lls waste m ixture (100:100, 75: 25, 50: 50, 25: 100, 0:100) a re used to examine the system performance and the most suitable ratio of mixture and ratio of inoculum/substrate are determined in another study.

For this purpose, waste mixture was treated in two separate currents. On first current, only t he m ethane i s pr oduced b y t he r eactor operated i n e xtreme t hermophilic condition (70^{o}C) as single-stage.

On t he ot her current, i n t he r eactors ope rated i n t wo s tage as 70 ^{o}C a nd 35 ^{o}C, hydrogen was produced in first stage and methane was produce on the second stage.

High efficiency w as obt ained from reactor BH70 a nd B HM35 , but e fficiency a nd the l evel of methane gas pr oduction of r eactor BM70 c ould not r each t he r equired level.

One s ample w as t aken from r eactors ev ery t wo days. Samples were t aken in two different ways as input and output of reactors, the day input sample was taken, output sample was not taken. And vice versa, the day output sample was taken, input sample was not taken. In that case, every input and output sample were taken in every 4 day average.

Based on the results of the analyzes, important conclusions are drawn by comparing BH70+BHM35 operated as a two-stage reactor and BM70 operated as a single-stage reactor. The values for the highest VSS tretament efficiency for reactor BH70 as 2% and COD as 4% were obtained.

In BHM35 r eactor t he hi ghest m ethane pr oduction i s 2397m L C H_4/day, V SS treatment ef ficiency i s 2 0%, and COD ef ficiency is 20% . As obs erved in reactor BH70, the highest values are obtained on the 3. period in also reactor BHM35.

In r eactor B M70 t he hi ghest m ethane pr oduction i s obt ained as 811 m L C H_4/day, VSS t reatment ef ficiency as 13%, COD ef ficiency as 14% . T hose v alues ar e v ery low in terms of methane production potential of organic waste .

In the first part of study, inoculum/substrate ratios are taken as 1:2, 1, 3:2, 2, 3 , and cattle m anure and halls w aste r atios as 1: 1. On t he ot her pa rt of s tudy, inoculum/substrate ratio is kept constant , but ratio of cattle manure and halls waste is t aken as 100:100, 75: 25, 50: 50, 25: 100, 0: 100. F or t he 2. S tage, t he hi ghest efficiency for different inoculum/substrate ratio 3 was obtained while cattle manure and halls waste ratio was 1:1.

At this poi nt, it can be said that a system operated in two stage is better in a high efficiency than a system operated in single stage. On two-stage system , it is able to achieve 88 m^3 H_2 and 742 m^3 CH_4 for per added tons of .

The reactions that occured in different steps of anaerobic threatment process with two-stage system were optimized in separate reactors, so the reaction speed and the amount of biogas can be increased.

In addition, it is an important competitive advantage to produce hydrogen called as one of the clean energy sources as today, except to produce methane in high efficiency with two-stage system.

1.GİRİŞ

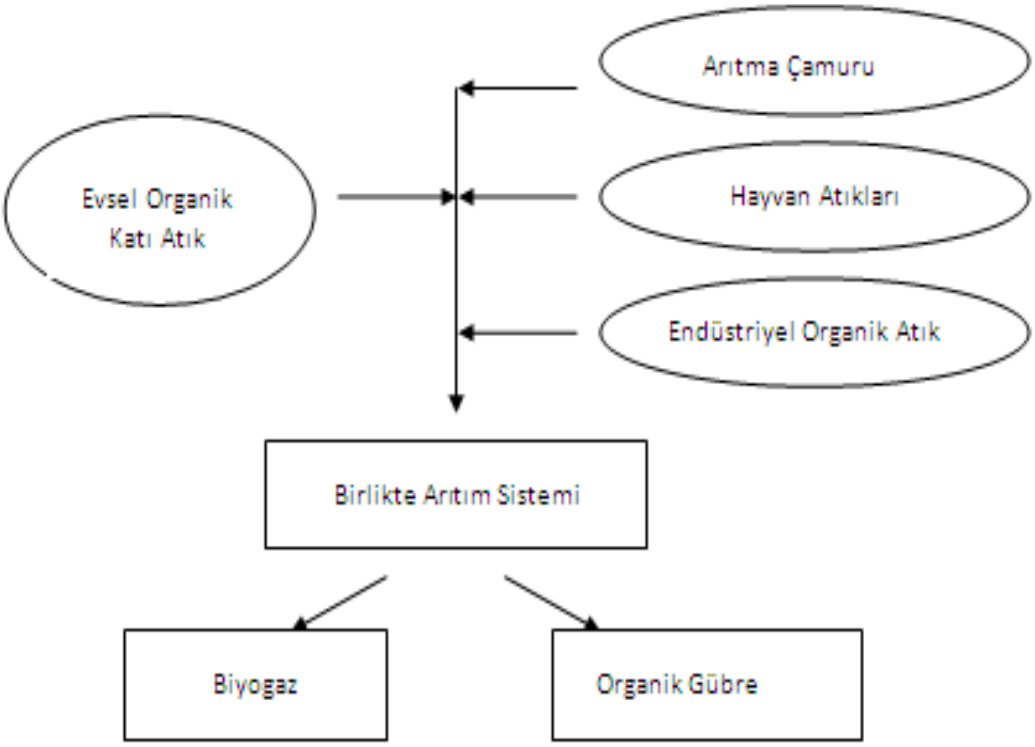
1.1.Konunun Önemi

İnsanların artan ihtiyaçları karşısında, enerji gereksinimi ve çevre sorunları giderek artış göstermiş ve büyük bir problem haline gelmiştir. Hem insanların ihtiyaç duyduğu enerji gereksinimlerini karşılamak, hem de çevre sorunlarının önüne geçmek, ülkemizi ve dünyayı daha yaşanılabilir bir hale getirmek için katı atıklardan yararlanılmalıdır. Günümüzde katı atıkların geri kazanımı ve katı atığın organik kısmından enerji eldesi çalışmaları önem kazanmaktadır. Organik katı atıkların anaerobik (havasız) ortamda arıtılması ile hem biyogaz oluşumu ile enerji elde edilmekte hem de bu atıklar yüksek verimi olan gübrelere dönüştürülmektedir. Böylece katı atıklardan, enerji elde edilmekte ve geri kazanım sonucu çevre kirliliğinin önüne geçilmektedir. Özellikle son yıllarda fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin tükenmek üzere olması ve bu yakıtların çevreye verdiği zarar dolayı katı atıklardan elde edilen biyogaz gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır.

Katı atığın, atık akımı olarak görülmesi yerine birçok ürünün geri kazanabileceği değerli bir kaynak olarak düşünülmesi, atık oluşumundan son bertarafa kadar bütün kademeleri içine alan entegre bir katı atık yönetiminin unsurlarını ve bunların birbirleri ile ilişkilerinin çok iyi bilinmesini zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilirlik açısından da büyük öneme sahip kompost ve geri kazanım uygulamaları (maddesel, termal veya biyogaz), 1980'lerin sonundan itibaren giderek önem kazanmaktadır (Sezer, 2010).

Ülkemizde günde yaklaşık 65 bin ton çöp üretilmektedir. Türkiye'de çöp miktarının yaklaşık % 15–20'sini geri kazanılabilir nitelikli atıklar oluşturmaktadır ve günde kişi başına bir kg evsel katı atık üretilmektedir. Üretilen evsel katı atık miktarının yaklaşık %50'sini organik atıklar, % 25'ini geri dönüşüme uygun maddeler ve %25'lik kısmı değerlendirilemez atıklar oluşmaktadır (Arıkan, 2008). Katı madde içeriği yüksek olan organik katı atıklar, daha düşük katı maddeli atıklarla (arıtma

çamurları, hayvan atıkları vb.) karıştırılarak birlikte anaerobik olarak arıtılabilir. Birlikte arıtım ile substrat madde içerisindeki toksik bileşenler seyreltilebilir, nutrient dengesi sağlanabilir, biyolojik olarak parçalanabilir maddenin organik yüklemesi arttırılabilir ve çürütücü hacminin her bir ünitesi için daha iyi verim elde edilebilir.



Şekil 1.1 : EOKA ile birlikte arıtım prensibi, (Öztürk, 2007).

Ülkemizde hayvancılık faaliyetlerinin ekonomik katkısı göz önüne alındığında, hayvancılığın yapıldığı bölgelerde ayrı bir önem kazanmaktadır. Özellikle kırsal kesimlerde her geçen gün artan büyükbaş hayvan sayısına bağlı olarak büyükbaş hayvan atık miktarında artış gözlenmektedir. Hayvancılığın yapıldığı bölgelerde hayvan atıkları büyük sorun yaratmakta ve bu nedenle hayvan atıklarının bertarafı ayrı bir önem kazanmaktadır. Ülkemizde hayvan atıklarının bertaraf yöntemi olarak yakma ve atığın gübre olarak kullanması gibi küçük çaptaki uygulamalar göze çarpmaktadır. Söz edilen bu yöntemler atıkların tamamının bertarafı için yeterli olmamaktadır. Hayvan atıklarının yüksek konsantrasyonlarda amonyak içermesi sebebi ile bu atıklar yüksek tamponlama kapasitesine sahiptir (Çoşkun ve diğ. 2010). Hayvan atıklarının katı madde içeriği domuz çiftliği atıklarında %3,5 KM, büyükbaş hayvan atıklarında %6-9 KM arasında değişmektedir. Bu atıklar mikrobiyolojik çoğalma için gerekli nütrientler bakımından da zengin olup, tarımsal değeri çok

yüksektir (Öztürk, 2007). Anaerobik arıtma teknolojisinin yüksek performansı, düşük maliyeti, bir yan ürün olarak enerji elde edilmesi ve düşük miktarda çamur üretimi gibi avantajları ile büyükbaş hayvan atıklarının bahsedilen özellikleri göz önüne alındığında anaerobik arıtım ile hayvan atıklarının bertarafı için etkin bir yol olarak gösterilebilmektedir. Hayvan atıklarının anaerobik çürütülmesini etkileyen faktörler şu şekilde sıralanabilir (Çoşkun ve diğ. 2010);

- ✓ katı ve hidrolik bekletme süresi,
- ✓ pH ve alkalinite,
- ✓ iz element ve nütrientlerin mevcudiyeti,
- ✓ sıcaklık,
- ✓ atıktaki toksik bileşenler,
- ✓ C/N ve sulandırma oranı.

Hayvan atıkları tek başlarına arıtıldığında metan üretim verimi düşük olmaktadır. Bu durumun temel nedeni katı madde içeriği ve atığın içerisindeki yüksek ligno-selülozik madde içeriğidir. Ligno-selülozik lifler anaerobik ayrışmaya karşı çok dayanıklıdır ve reaktörden çürütülmeden çıkarlar. Çürüme verimini arttırmak için anaerobik arıtma öncesi, ayrışamayan bu maddeler için bir ön arıtma (hidroliz) yapılabilmektedir.

Bu nedenler göz önüne alındığında büyükbaş hayvan atıklarının arıtılması amacıyla anaerobik arıtma yönteminin kullanılması son zamanlarda yaygınlaşan bir yöntem olarak uygulanmaktadır.Birçok ülke için düzenli depolamadaki alan sıkıntısı, kontrol edilemeyen gaz ve sızıntı suyu emisyonları nedeniyle basit bir atık bertaraf yöntemi olmaktan çıkarak entegre arıtma yöntemlerinin birarada değerlendirildiği kompleks yönetim sistemine geçiş yapılmaya başlanmıştır (Hartman ve Ahring, 2005). Anaerobik çürütme prosesi, oluşan düşük miktardaki çamur, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilen biogaz oluşumu, oluşan gazın yüksek kalorifik değerinin olması, az enerji tüketimi, az alan gereksinimi, düşük yatırım maliyeti gibi çeşitli avantajları bulunan bir arıtma yöntemidir (Gosh ve Pohland, 1974). Anaerobik biyolojik arıtma yöntemi düşük işletme maliyeti ve organik atıklardan sağladığı enerji geri kazanımı nedeniyle cazip bir arıtma yöntemidir (Lettinga ve diğ., 1979; Jetten ve diğ., 1997; Lettinga, 2005). Tek kademeli anaerobik sistemlerde tüm reaksiyonlar tek bir tankta gerçekleşirken iki kademeli sistemlerde iki tankta gerçekleşmektedir. İki kademeli sistemler organik yüklemedeki değişkenliklere karşı

daha iyi dengeleme ve koruma sağlamaktadır (Weiland, 1992). İki kademeli sistemlerin kullanım amacı anaerobik arıtma sürecinin farklı adımlarında gerçekleşen reaksiyonlarını, ayrı ayrı reaktörlerde optimize etmektir, böylece reaksiyon hızı ve biyogaz miktarı arttırılabilir (Ghosh ve diğ., 1999).

Birinci reaktörde hız sınırlayıcı kademe olan hidroliz-asidifikasyon reaksiyonları, ikinci reaktörde ise yavaş mikrobiyal büyümenin hız sınırlayıcı olduğu asetojenesis ve metanojenesis reaksiyonları gerçekleşir (Liu ve Ghosh, 1997; Palmowski ve Müller, 1999).

Bu iki ana kademe farklı reaktörlerde gerçekleştiğinden, metan üretiminin gerçekleştiği ikinci reaktörü yüksek biyokütle konsantrasyonlarında ve yüksek çamur yaşlarında çalıştırmak mümkündür (Weiland, 1992; Kübler ve Wild, 1992).

1.2 Tezin Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada hayvan ve yemekhane atığı karışımlarının farklı işletme koşullarında metan ve hidrojen geri kazanımını sağlayacak iki kademeli sistemde arıtımı incelenerek, sistem performansının ortaya konması amaçlanmaktadır.

Bu amaçla atık karışımı iki ayrı akımda arıtılmıştır. Birinci akımda tek kademeli olarak aşırı termofilik (70^oC)'de işletilen reaktörden sadece metan üretimi yapılmıştır.

Diğer akımda ise iki kademeli olarak 70^oC ve $35\ ^oC$' de işletilen reaktörlerin, ilk kademesinde hidrojen üretimi ikinci kademesinde ise metan üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca yapılan diğer bir çalışmada ise; farklı aşı /substrat ve farklı büyükbaş hayvan-yemekhane atığı karışım oranları kullanılıp, sistemin performansı incelenmiş ve en uygun karışım ve aşı/substrat oranının saptanması amaçlanmıştır. Alınan numunelerde yapılan karakterizasyon çalışması ve gaz ölçümleri sayesinde sistemlerin performansı incelenmeştir.

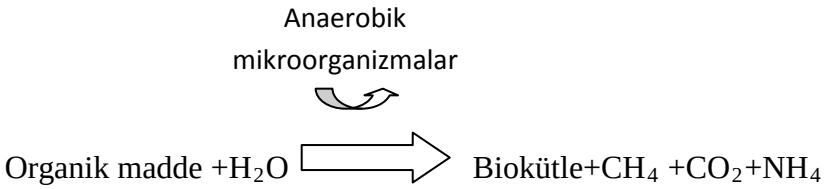
Bu kapsamda tezin 2. Bölümünde yukarıda belirtilen amaç kapsamında literatür araştırması yapılarak özetlenmiştir. 3. Bölümde ise yapılan deneysel çalışmada kullanılan materyal metod detaylı olarak verilmiştir. 4. Bölümde deneysel çalışma sonucunda elde edilen verilerin analizi yapılarak yorumlanmıştır.

Son olarak 5. Bölümde sonuçlar özetlenmiştir.

2.ANAEROBİK ARITMA

2.1.Anaerobik Çürüme

Anaerobik arıtma, organik atıkların oksijensiz ortamda çeşitli biyolojik süreçlerden geçerek, parçalanması ile, CH_4, CO_2, NH_3 ve H_2S gibi son ürünlere dönüştürülmesi ile gerçekleşir. Anaerobik arıtma çok kompleks biyolojik ve biyokimyasal bir proses olup, birçok bakteri türünün birlikte çalışması ile gerçekleşir. Anaerobik arıtmanın son ürünü "biyogaz" olarak tanımlanır ve en temel denklemi ise aşağıda verilmektedir.



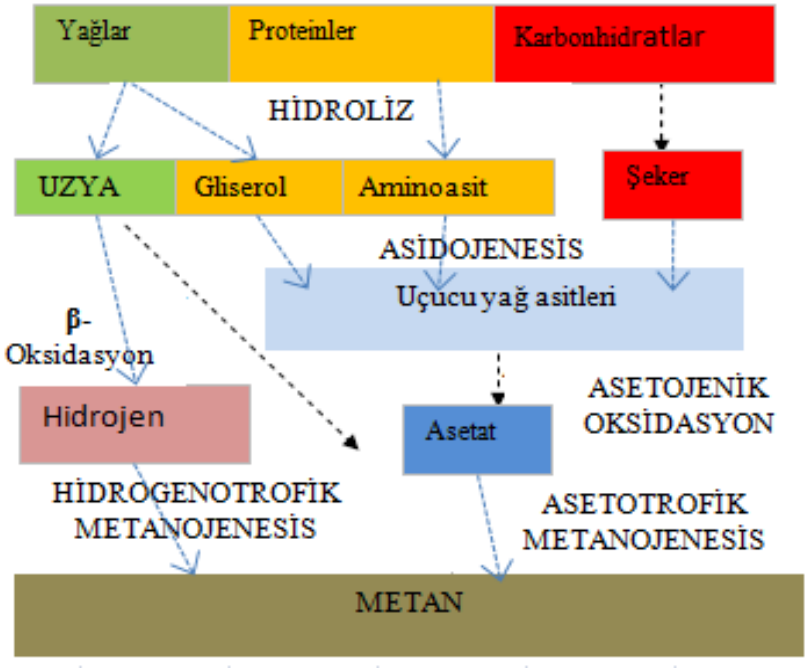
Şekil 2.1 : Anaerobik çürütmede madde dönüşümü ve reaksiyon son ürün oluşumu.

Anaerobik çürüme sırasında, organik maddeler biokütle, metan ve karbondioksite dönüştürülür. Amonyum olarak meydana gelen nitrojenin belirli bir kısmı bakteriyel gelişimde kullanılır.

Okyanus sedimentlerinde nehirlerde, göllerde, topraklarda ve bazı hayvanların sindirim sistemlerinde gerçekleşen anaerobik çürüme anaerobik prosesin doğada meydana gelen örnekleri olarak gösterilebilir.

Bu proseste kompleks organik maddelerin parçalanması üç aşamada özetlenebilir (Şekil 2.2)

- Yüksek molekül ağırlığa sahip katı ve çözünmüş organik maddelerin hidrolizi,
- Düşük molekül ağırlıklı organik maddelerin asit bakterileri tarafından uçucu yağ asitlerine ve asetik aside dönüştürülmesi, H_2 ve CO_2,
- Asetik asit ve H_2 ile CO_2'den metan üretimi.



Şekil 2.2 : Anaerobik ayrışmanın aşamaları (Kuang, 2002).

Anaerobik arıtma, yüksek molekül ağırlıklı katı ve çözünmüş organik maddelerin hidrolizi, organik asit oluşumu, asetik asit oluşumu ve metan üretimi olmak üzere başlıca 4 kademeden oluşmaktadır (Mata-Alvarez, 2003).

2.1.1.1 Hidroliz

Disintegrasyon, kompleks organik maddelerin parçalanmasını ve hidrolize olabilir hale dönüşümünü sağlayan bir prosestir. Disintegrasyon ve hidroliz prosesleri hücre dışı gerçekleşen biyolojik ve biyolojik olmayan prosesler olup, kompleks organik maddelerin çözünmüş substratlara parçalanmasını ve çözünmesini ifade etmektedir (Sezer, 2010). Disintegrasyon sonucu oluşan partiküler haldeki karbonhidrat, protein ve lipidlerin çözünmüş yapı taşlarına ayrılmasına hidroliz aşaması olarak ifade edilmektedir.

Anaerobik artımada ilk adım hidroliz aşaması olup, hücre zarından geçemeyecek büyüklükteki polimerik yapıdaki organik maddelerin salgılanan hücre dışı enzimler ile hidrolize edilerek, mikroorganizmalarca kullanılabilecek ve hücre zarından geçebilecek daha basit yapıdaki çözünmüş ürünlere dönüştürülmesidir. Hidroliz aşamasında, organik maddeler ağırlıklı olarak partiküler formda ise anaerobik çürütme için hız sınırlayıcı faktörlerden biridir.

Hidroliz hızı substrata bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 : Substratlar için hidroliz oranları (*Christ ve diğ. 2000, **Gavala HN ve diğ. 2003).

Substrat	Hidroliz oranı, gün^{-1}
Karbonhidrat	0.025-2*
Selüloz	0.04-0.13**
Protein	0.015-0.075*
Lipit	0.005-0.01*

Anaerobik reaktörlerde arıtılan organik maddelerin çoğu bitkisel kökenlidir. Bu katı organik maddelerin başlıcaları polisakkaritler, lignin, proteinler, azotlu bileşikler ve lipitler olmak üzere 5 kısımda incelenmektedir (Öztürk, 2007).

Lignin, branşmanları çapraz olarak birbirine bağlanmış fenil propan türevlerinin kompleks polimeridir. Diğer polimerlerden farklı olarak lignin aynı tip monomerlerin ardışık bağlanmış şekli olmayıp, farklı tip monomerlerden oluşur. Lignini oluşturan monomerler en az 5 farklı şekilde bir araya gelebilmekte ve bunlardan hiçbiri anaerobik olarak kolay hidroliz olmamaktadır (Zeikus,1980).

Proteinler, hücre dışı bir enzim olan proteaz enziminin kullanımı ile önce polipeptitlere ve daha sonra aminoasitlere dönüştürülmektedir. Polisakkaritler, selüloz, hemiselüloz ve pektinleri ihtiva etmektedirler. Saf selüloz tıpkı nişasta gibi glikozun bir polimeridir fakat kolay hidrolize uğramaz. Polisakkaritler genel olarak havasız ortamda ayrışabilmektedir (Öztürk, 2007).

Azotlu bileşiklerin, bilinen en önemli azotlu bileşiği hayvansal organik atık olan üredir ($CO(NH_2)_2$). Üre anaerobik bakterilerce amonyak ve karbondioksite parçalanır. Azotlu bileşiklerin fermentasyonu sonucu formik, asetik, propiyonik, laktik asit gibi yağ asitleri ve CO_2, H_2 gibi gazlar oluşmaktadır (Öztürk, 2007).

Yağlar (lipitler) suda çözünmeyen, ancak organik çözücülerde çözünebilen heterojen yapıdaki organik bileşiklerdir. Havasız şartlarda, lipaz olarak adlandırılan enzim lipitleri parçalayıp uzun zincirli yağ asitleri, galaktoz ve gliserol oluşturmaktadır.

Yağlar çok yavaş hidrolize olduğundan dolayı önemli miktarda yağ ve diğer yavaş hidroliz olan maddeleri ihtiva eden atıkların havasız arıtımında hidroliz hız sınırlayıcı kademe olabilmektedir (Speece, 1996). Lanolin ve benzeri bazı yağ türleri havasız ayrışma prosesi ile parçalanamamaktadır (Öztürk, 2007).

2.1.1.2. Asit üretimi

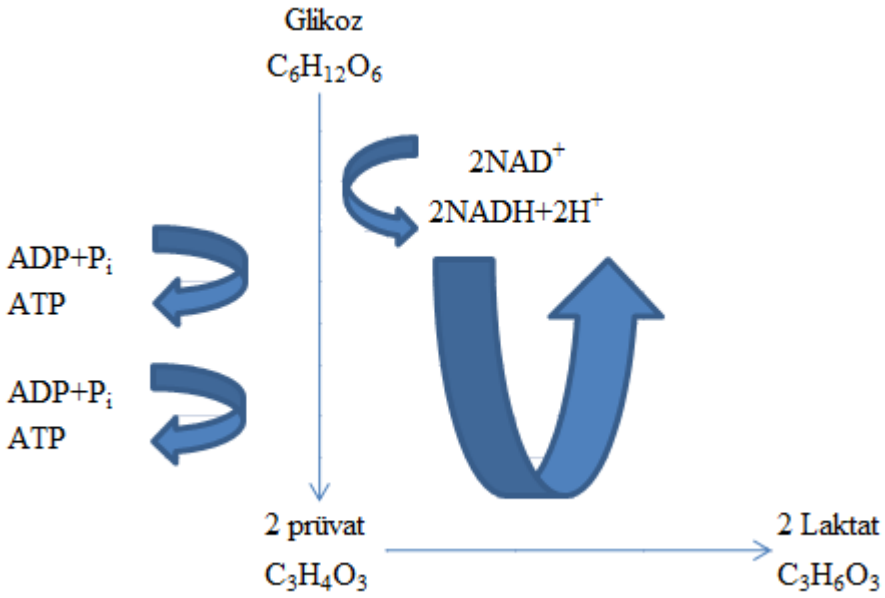
Asidojenesis safhasında ise daha ileri bir ayrışma fermantatif bakteriler tarafından hidroliz aşamasından geriye kalan monomerleri kullanılarak gerçekleştirilir. Hidroliz aşamasının ardından ortaya çıkan monomerlerin fermentatif bakteriler (asidojenik) aracılığı ile parçalanması asidojenesis olarak adlandırılır.

Hidroliz aşamasında monomerlerine ayrışan organik bileşikler, fermantasyon bakterileri tarafından uçucu yağ asitlerine dönüştürülürken amonyak, karbondioksit, hidrojen sülfür ve diğer son ürünlerde oluşur. Asidojenesis prosesi, sütün ekşimesinde gerçekleşen safhalara benzer olarak gerçekleşir.

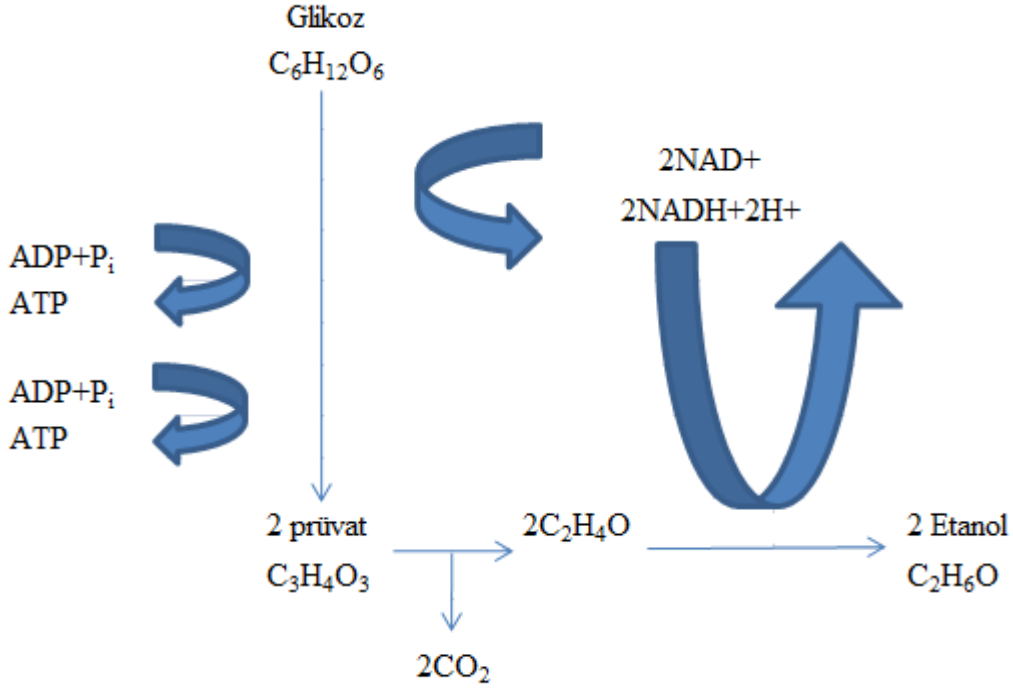
Asidojenesis safhasında üretilen hidrojen ve asetat metan arkeleri tarafından kullanılır. Uçucu yağ asitleri gibi asetattan daha uzun zincire uzunluğuna sahip olan diğer moleküller arkeler tarafından kullanılmak üzere katabolize edilmelidir. Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha büyük olduğu için, çözünmüş organik madde konsantrasyonundaki ani artış, asit üretiminin artması sonucu sistemde asit birikimine yol açmaktadır. Böyle bir durum bir sonraki adım olan metan üretimi safhasında inhibisyona sebep olabilmektedir.

Asidojenik bakteriler kompleks organik maddelerin hidrolizi sonucunda oluşan monosakkaritleri, aminoasitleri ve yağ asitlerini organik asit, hidrojen, amonyum ve karbondioksite dönüştürür. Özetle, bu basit molekülleri laktik asit ve 2-5 karbonlu uçucu yağ asitleri gibi düşük moleküler ağırlığa sahip asitlere dönüştürür. Bikarbonat etanol gibi düşük moleküler ağırlıklı alkoller üretilir.

Mikroorganizmalar bünyesinde az miktarda olsa koenzim içerir ve bu yüzden NAD^+ asit üretimi yolunda hidrojen alıcı olarak görev alabilir fakat asit üretiminin devamı için oluşan NADH'ın oksitlenmesi gerekir. Asit bakterileri bu oksidasyonun gerçekleşmesi için farklı yollar izlerler (Öztürk, 2007). Şekil 1.3 ve 1.4'da glikozun asit bakterileri tarafından parçalanıp laktat ve etanole dönüştürülmesi aşamaları verilmiştir. Bu durumda koenzim A ile demirli bir redoks bileşiği, Ferrodoksin de H_2 üretimi yoluyla prüvatın parçalanmasında rol oynar. (Öztürk, 2007).

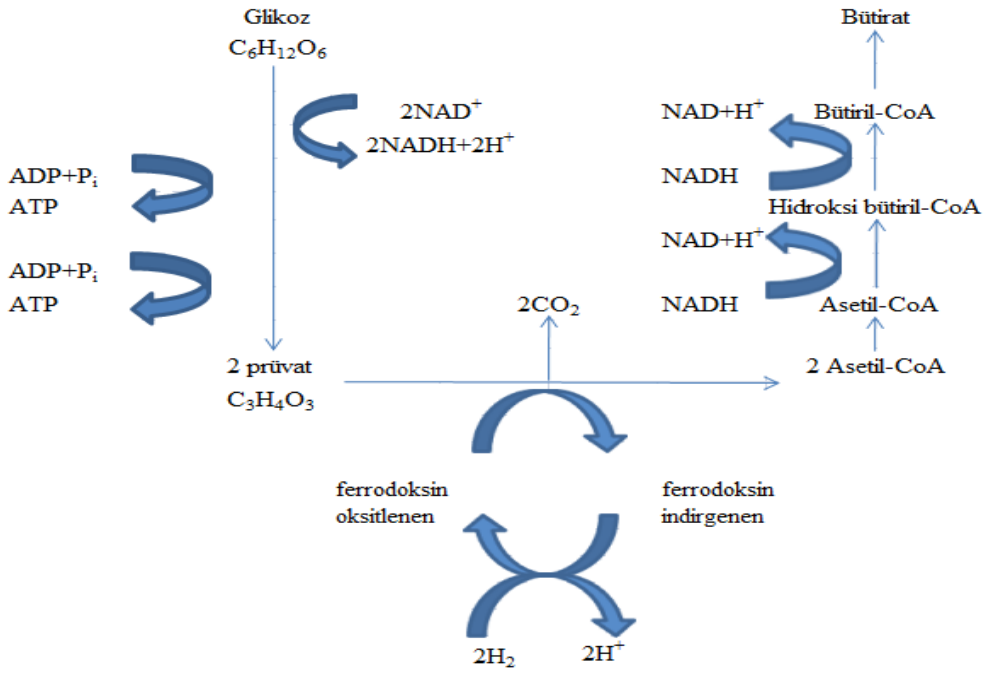


Şekil 2.3 : Glikozun laktata dönüşümü (Öztürk, 2007).



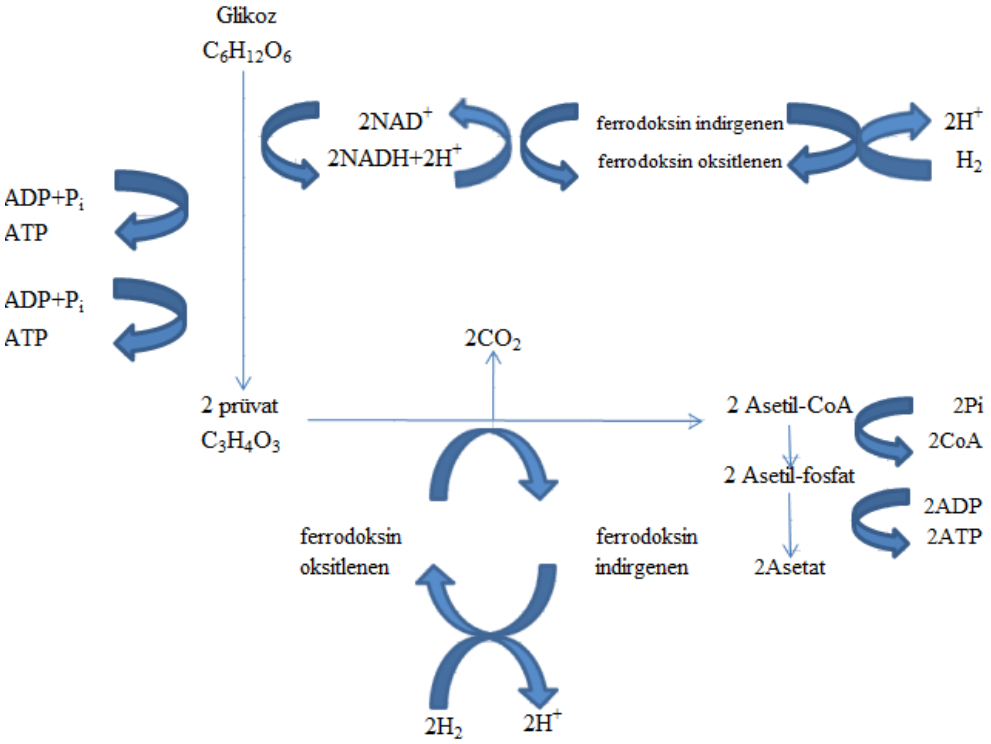
Şekil 2.4 : Glikozun etanole dönüşümü (Öztürk, 2007).

Glikozun asit fermantasyonu ile parçalanarak son ürün olarak bütirat, H_2 ve CO_2 oluşumu daha kompleks bir yoldur (**Şekil 2.5**).



Şekil 2.5 : Glikozun bütirata dönüşümü (Öztürk, 2007).

Prüvatın fermantasyonunda diğer bir yol ise bakterilerin asetil-koenzim A ile fazladan 2 ATP'lik enerji kazandıkları yoldur (**Şekil 2.6**).

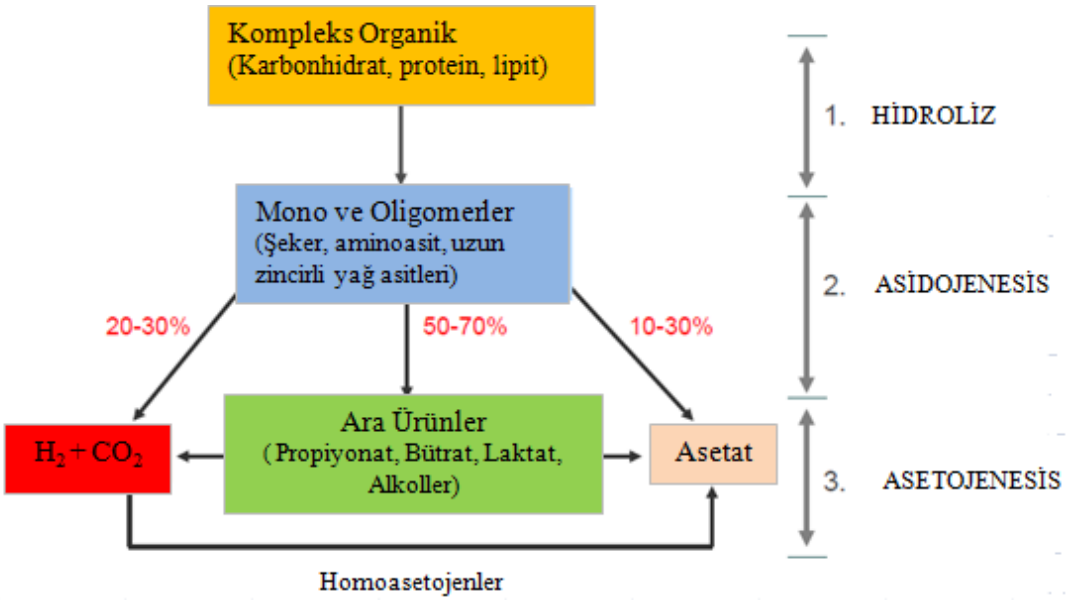


Şekil 2.6 : Glikozun asetata dönüşüm yolu (Öztürk, 2007).

2.1.1.3.Asetat üretimi

Anaerobik çürümenin üçüncü safhası ise asetojenesis aşamasıdır ve asidojenesis safhasında üretilen uzun zincirli yağ asitleri ve uçucu yağ asitleri, asetik asit üreten (asetojen) bakteriler tarafından asetat, CO_2 ve H_2'ye dönüştürülür. Uçucu yağ asitleri ve uzun zincirli yağ asitleri bu reaksiyonlarda elektron verici olarak görev yaparlar. Bu reksiyonların elektron alıcısı hidrojendir.

Reaksiyonların termodinamik olarak ürünler yönünde ilerleyebilmesi için ortamdaki hidrojen konsantrasyonunun düşük olması gerekmektedir. Hidrojen kullanarak metan üreten bakteriler ise H_2'yi elektron verici, CO_2'yi de elektron alıcı olarak kullanarak ortamdaki hidrojen konsantrasyonunu kontrol ederler (Sezer, 2010). Anaerobik arıtımın bu üç aşaması Şekil 2.7'de verilmektedir.



Şekil 2.7 : Anaerobik çürümenin basamakları (Yılmaz ve İzbul, 2010).

2.1.1.4.Metan üretimi

Metan, asetik asitin parçalanması veya H_2 ile CO_2'nin sentezi sonucu elde edilmektedir. Anaerobik reaktörlerde üretilen metanın yaklaşık olarak %30'u H_2 ve CO_2'den, %70'i ise asetik asitin parçalanmasından oluşmaktadır (Aydın, 2002). H_2 ve CO_2'den metan üreten arkeler, asetik asit kullanan arkelere oranla çok daha hızlı çoğalmaktadır.

Dolayısıyla ortamda yeterli H_2 ve CO_2 bulunduğu sürece, bu yolla CH_4 üretimi devam etmektedir (Sezer, 2010).

Metanojen bakterileri pH değişimlerine çok duyarlı olduklarından, düşük ve yüksek pH'da varlık gösteremezler. Bu nedenle anaerobik sistemlerin pH'sı 6.5 ile 8.0 arasında ayarlanmalıdır.

Şimdiye kadar 15 farklı metan bakteri izole edilmiştir ve formik asit, asetik asit, metanol ve hidrojen çeşitli metan bakterileri tarafından enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Demir, 2000). Çizelge 2.2'de kullanılan ürünler vasıtası ile oluşan metan ve serbest enerji seviyeleri verilmektedir.

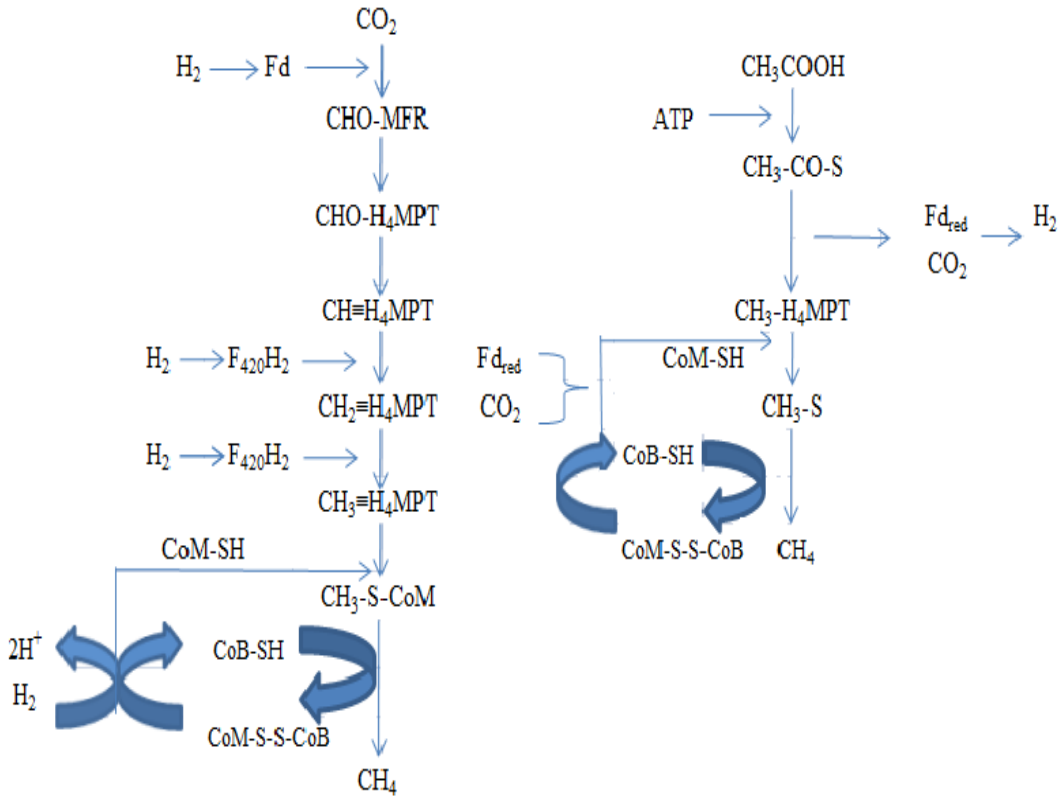
Çizelge 2.2 : Çeşitli ürünler ile üretilen metan ve serbest enerjileri (Demir , 2000).

Girenler	Ürünler	ΔG (kj)
$4CO + 2H_2O \longrightarrow$	$CH_4 + 3CO_2$	-185.1
$4H_2 + CO_2 \longrightarrow$	$CH_4 + 2H_2O$	-139.2
$HCOO^- + 3H_2 + H^+ \longrightarrow$	$CH_4 + 2H_2O$	-134.3
$4HCOO^- + 2H^+ \longrightarrow$	$CH_4 + CO_2 + 2HCO_3$	-126.8
$CH_3OH + H_2 \longrightarrow$	$CH_4 + H_2O$	-121.1
$4CH_3OH \longrightarrow$	$3CH_4 + 2H_2O + CO_2$	-102.5
$CH_3NH_2 + 2H_2O + 4H^+ \rightarrow$	$3CH_4 + CO_2 + 4NH_4$	-101.6

Günümüze kadar yapılan araştırmalarda asetatın metana doğrudan dönüşümünü sağlayan arkelerden Methanosaeta ve Methanosarcina cinslerinin sorumlu olduğu bilinmektedir (Sezer, 2010). Methanosaeta cinsleri çubuksu mikroorganizmalar olup sadece asetik asiti karbon ve enerji kaynağı olarak kullanmaktadır.

Methanosarcina cinsleri ise yuvarlak şekilli olup asetat, metanol, metilaminler ve bazen hidrojeni kullanarak kümeler halinde çoğalmaktadır (Öztürk, 2007). Anaerobik arıtma sürecinin durumunu belirlemek ve yüksek metan elde etmek için, ortamdaki H_2 konsantrasyonun izlenmesi gerekmektedir. Ortamdaki gaz fazındaki H_2 konsantrasyonunun artması halinde ürün oluşumu organik asit formuna kayar ve bu durum pH'yı düşürür.

Bu durum metan arkelerinin reaksiyonlarının hızını yavaşlatarak ortamda H_2 birikmesine yol açar. Bu nedenle anaerobik arıtma sürecinde metan üretim verimini arttırmak için, H_2 konsantrasyonun düşük tutularak karbon akışının asetat üretimine doğru yönlendirilmesi gerekmektedir. Metan arkeleri genel olarak hidrojen ve asetat metanojenleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Metan üretimi sırasında, metan arkelerinin izlediği aşamalar Şekil 2.8' da verilmiştir (Öztürk, 2007).



Şekil 2.8.: Hidrojenin ve asetik asitin metana dönüşüm yolu (Öztürk, 2007).

2.2.Hidrojen Üretimi

Hidrojen gazının toksik etkisinin olmayışından ve yakıt olarak kullanımı sonucunda sera gazı oluşmaması (CO_2) sebebi ile gelecek için çok ilgi çekici bir yakıt olduğu düşünülmektedir.

Ayrıca hidrojen rüzgar, güneş, jeotermal enerji gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilebildiğinde, sürdürülebilir bir yakıt olduğu söylenebilir.

Hidrojen üreten mikroorganizmalar; fototrof, fakültatif anaerob, anaerob olmak üzere üç gruba ayrılabilir ve üretilecek hidrojen miktarını arttırmak için biokütle kaynaklı karbonhidratların tamamı asetata ya da CO_2 okside olmaları, tüm indirgenen maddelerin geri dönüşümünün sağlanması (NADH, ferrodoksin), laktat ve etanol gibi

son ürünlerin oluşmamasına dikkat etmek gerekir (Verhaart ve diğ., 2010). Hidrojen aşağıda verilen iki sebepten dolayı metana karşı tercih edilebilmektedir (Li, 2008).

1- H_2, metana kıyaslandığında geniş bir aralıkta endüstriyel kullanıma sahiptir. Metan ise çoğunlukla yakıt olarak kullanılır.

2- H_2 ideal yakıttır, yandığı zaman sadece su oluşur.

Anaerobik fermentasyonda hidrojen gazı asidojenik fazda oluşmaktadır. Asıl ürün metan gazı olmasına rağmen, az miktarda hidrojen gazı da üretilmektedir. Bunun yanında asidojenik fazda organik asitler de oluşmaktadır. Asidojenik fazda oluşturulan hidrojen gazı, metanojenik fazda tüketildiğinden reaksiyonlar asidojenik fazda tutulmalıdır. Stokiyometrik olarak, 25^0C sıcaklık ve 1 atm basınç altında 1 gram nişastadan 553 ml H_2 (45 mg , 22.5 mmol) üretmek mümkündür (Zhang ve diğ., 2003). Fakat gerçekte, karbonhidratların bir kısmı biyosentezde kullanıldığı için üretilen hidrojen gazı stokiyometrik olandan daha az olmaktadır. Birçok anaerobik organizma karbonhidrat içeren organik atıklardan hidrojen gazı üretebilmektedir. Havasız reaktörlerde arıtma sürecinin durumu, biyogazdaki H_2 konsantrasyonunu izleyerek açıklanabilmektedir (Öztürk, 2007). Ayrışma sürecinde H_2 konsantrasyonu serbest Gibb's enerjisini ve fermantasyon ürününü etkilemektedir. Gaz fazındaki H_2 konsantrasyonun artması ile ürün oluşumu organik asit formuna kaymaktadır. Aşağıdaki denklemde glikozun Clostridium butyricum türü ile ayrışmasında ürünlerin ve Gibb's enerjisinin H_2 konsantrasyonuna bağlı olarak nasıl değiştiği gösterilmiştir (Öztürk, 2007).

$(H_2) > 10$ Pa;

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \longrightarrow$ 0.7bütirat + 0.6asetat + $1.3H^+$ + $2CO_2$ + $2.6H_2$ (Denklem 2.1)

$\Delta G^0 = -233$ kj.mol^{-1}

$(H_2) < 10$ Pa;

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \longrightarrow$ 2asetat + $2H^+$ + $2CO_2$ + $4H_2$ (Denklem 2.2)

$\Delta G^0 = -300$ kj.mol^{-1}

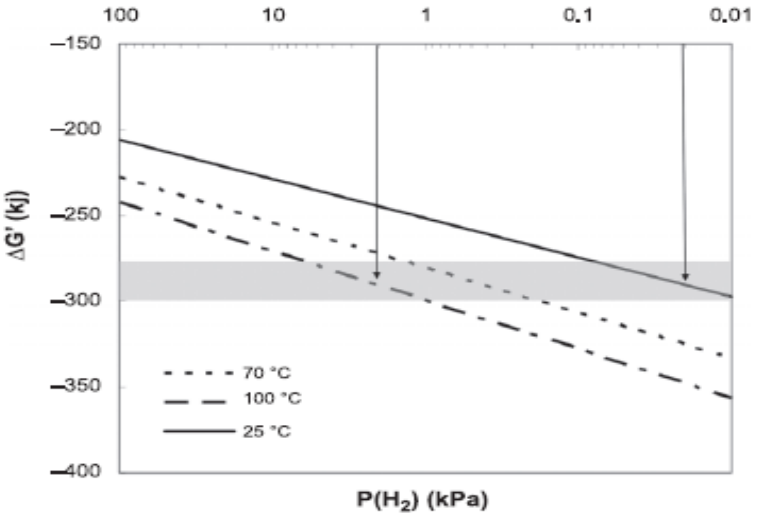
Metan arkelerinin çoğalma hızlarının (T=35 ^{o}C, 2-3 gün), asit bakterilerine (T=35 ^{o}C, 2-3 saat) kıyasla daha yavaş olduğu bilinmektedir. Anaerobik sisteme ani olarak yük

(glikoz) verildiğinde, asit bakterileri bu şok yüke kısa bir sürede uyum göstererek yukarıdaki reaksiyona göre asit üretirler. Yani organik yükün artması durumunda asit üretimi için istenilen verim alınırken, metan üretimi için istenilen verim alınamaz ve bu durumu takiben ortamda uçucu asit birikimi gözlenmektedir. Ortamda biriken asit pH' düşürür ve metan arkelerinin rol aldığı reaksiyonlar yavaşlayarak ortamda H_2 birikimi gözlenir. H_2 konsantrasyonu artışı ile (Öztürk, 2007);

1)Toplam asit üretim hızının düşmesine yol açar. Bu halde sistemin kararlı hale dönebilmesi için ilave zamana ihtiyaç duyulur.

2) Bütirik ve propiyonik asit konsantrasyonlarının artmasına sebep olur. Bu da asetik asit üretimini ve asetat kullanan metan arkelerinin CH_4 üretmelerini engeller.

3)Hidrojen konsantrasyonun daha artması propiyonik asit üretimini hızlandırır ve ortamda pH düşer. Daha önceki çalışmalardan elde edilen mevcut termodinamik datalar ile farklı Gibbs enerji denklemleri kullanılarak, reaksiyonların serbest Gibbs enerji değişimi hesaplanabilmektedir. Şekilde 2.9'da görüldüğü gibi çeşitli sıcaklıklar için, serbest Gibbs enerjisinin basınç ile değişimi verilmektedir. -300 kj'lük enerji için, 100 ve 25^{o}C'de oluşan hidrojen basınçlarının farklı olduğu görülür. 25 ^{o} C'de hidrojenin basıncı 0.022 kPa dan az olması gerektiği görülür iken, bu değer 100 ^{o} C'de 2.2 kPa olmaktadır.

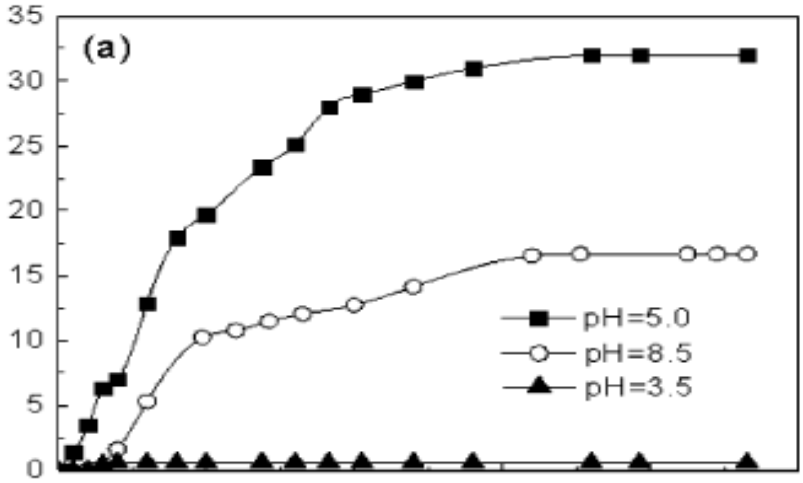


Şekil 2.9 : Serbest Gibbs enerjisinin sıcaklık ve hidrojen basıncına göre değişimi (Verhaart ve diğ., 2010).

Glikoz $+ 4H_2O \rightarrow$ 2 asetat $+ 2HCO_3^- + 4\ H^+ + 4H_2$ (Denklem 2.3)

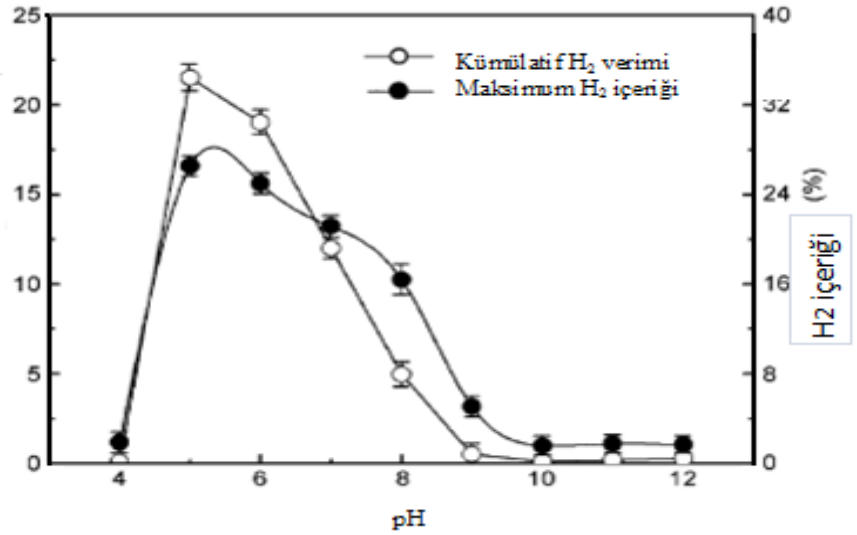
Gri ile gösterilen alan, 1 mol glikozdan üretilen 4 mol ATP üretmek için gereken ΔG değerini göstermektedir. Buna göre gri alan içerisinde Gibbs enerjisinin farklı sıcaklık ve farklı hidrojen basınıcına bağlı olarak nasıl değiştiği gözlenebilmektedir.

Hidrojen üretimini etkileyen faktörler; pH, sıcaklık, substrat tipi, hidrolik bekletme süresi ve reaktör tipi olarak söylenmektedir. Sıcaklık ve pH'daki değişikliklerin bu faktörlerin en önemlileri olduğu bilinmektedir. Xing ve diğ. (2009) yılında süt ineği atıklarından biyohidrojen üretimini inceledikleri bir çalışmada ise substrat olarak asit ön arıtımına tabi tutulmuş süt ineği atığının kullanıldığı ve pH değerinin 5 olduğu durumda en yüksek hidrojen veriminin sağlandığı belirtilmiştir.



Şekil 2.10 : Hidrojen verimi- pH ilişkisi (Xing ve diğ., 2009).

Şekil 2.11'de görüldüğü üzere pH değerinin 5 olduğu durumda kümülatif hidrojen veriminin 31,5 mL / g- UKM, hidrojen içeriğinin de % 38,6 olduğu görülmüştür.



Şekil 2.11 : Hidrojen üretiminde pH değerlerinin etkisi (Xing ve diğ., 2009).

Hidrojen üretim prosesinde sıcaklık da önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Farklı sıcaklık değerlerinde farklı hidrojen verimleri meydana gelmektedir.

Uygun aralıkta sıcaklık artışı hidrojen üreten bakterinin yeteneğini arttırmakta fakat çok yüksek seviyelerdeki sıcaklık hidrojen üretimini azaltabilmektedir.

Hidrojen üretim sistemleri farklı sıcaklıklarda işletilebilmektedir. Bunlar; mezofilik (25-40℃), termofilik (40-65℃), aşırı termofilik (65-80℃) ve hipertermofilik (80℃ üzeri)'dir. Aşırı termofilik sıcaklık (70℃), mezofilik ve termofilik şartlarla kıyaslandığında çok sayıda avantaj sağlamaktadır (Liu ve diğ., 2008). Bu avantajlar şöyledir:

1-Hidrojen üretim verimi daha fazladır.

2-Çürütülmüş atıkta patojenlerin giderimi daha fazladır

3-Metanojenlerin ve solvent üreten bakterilerin kontamine olma riskini en aza indirir.

Hidrojen fermentasyon prosesi, aşırı termofilik şartlarda farklı organik asitlerin özellikle asetatın üretimiyle ilişkilidir. Asit konsantrasyonu, aşırı termofilik hidrojen fermentasyon esnasında yüksektir (Liu ve diğ., 2008).

2.3. Anaerobik Arıtmanın Avantajları ve Dezavantajları

Anaerobik arıtmanın bazı avantajlarından ve dezavantajlarından söz edilmektedir ve bunlar Çizelge 2.3'de verilmektedir**.**

Çizelge 2.3: Anaerobik arıtmanın avantaj ve dezajantajları (Metcalf ve Eddy, 2004).

Anaerobik arıtmanın aerobik arıtma ile kıyaslandığında avantajları;	Anaerobik arıtmanın dezavantajları;
✓ Az enerji gereksinimi. ✓ Az biyolojik çamur üretimi. ✓ Düşük nutrient ihtiyacı. ✓ Potansiyel enerji kaynağı olan metan üretimi. ✓ Aktif biyokütle konsantrasyonu yüksek olduğu için düşük reaktör hacmi. ✓ Aerobik Arıtmanın 5-10 katı yüksek OYH ile çalıştırılabilir.	✓ Daha uzun devreye alma süresi. ✓ Alkalinite veya spesifik bir tür iyon eklenmesine ihtiyaç duyulabilmesi. ✓ Deşarj standartlarını sağlamak için ilave olarak aerobik arıtmaya ihtiyaç duyulabilmesi. ✓ Biyolojik azot veya fosfor uzaklaştırmanın mümkün olmaması. ✓ Reaksiyon hızı düşük sıcaklığa bağlı olumsuz etkilere karşı daha hassastır.

Çizelge 2.3 (devam): Anaerobik arıtmanın avantaj ve dezajantajları (Metcalf ve Eddy, 2004).

Anaerobik arıtmanın aerobik arıtma ile kıyaslandığında avantajları;	**Anaerobik arıtmanın dezavantajları;**
✓ Sistemin uzun süre beslenmediği durumlarda bile substrat ilavesi ile kısa sürede aklime olabilme özelliği.	✓ Toksik bileşenlere karşı oldukça duyarlıdır. ✓ Korozif gaz oluşumu üretme potansiyeline sahiptir.

Bu nedenlere dayanarak anaerobik arıtma sistemlerinin, aerobik arıtma sistemlerine göre daha avantajlı olduğu kabul edilir. Fakat anaerobik arıtmanın avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Bazı durumlarda anaerobik arıtmanın yerine aerobik arıtım veya anaerobik-aerobik arıtım uygulamaları da gerçekleştirilir. Anaerobik arıtma sistemlerinin dezavantajlar aşağıda sıralanmaktadır (Öztürk, 2007).

- ✓ İşletmeye alma devresinin daha uzun olması
- ✓ Sülfat içeren sularda H_2S ve koku problemi
- ✓ Nitrifikasyon imkanı olmayışı
- ✓ Klorlu organik bileşiklerin havasız arıtmada, havalı arıtmaya göre daha zararlı oluşu
- ✓ Düşük sıcaklıklarda arıtma hızı ve veriminin düşük oluşu
- ✓ Seyreltik ve karbonhidratlı atıklarda düşük alkaliniteye bağlı ilave alkalinite ihtiyacı
- ✓ Bazı tür endüstriyel atıklarda reaktör içinde ve boru aksamında ciddi inorganik çökelti ve taşlaşma sorunları görülmektedir.

2.4.Anaerobik Arıtma İçin Optimum Çevre Şartları

Anaerobik reaktörlerde kararlı koşulları sağlamak ve yüksek performans elde edilebilmesi için, arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların yaşayabileceği ve çoğalabileceği en uygun çevre şartlarının sağlanması gereklidir. Çevre şartlarının mikroorganizma üzerine etkileri, mikroorganizma türüne bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Bu koşullar sağlandığı takdirde sistem performansı artacak ve sağlanan koşullar bozulmadığı takdirde sistemin performansı değişmeden devam edecektir. Sözü edilen koşullardan bazıları Çizelge 2.4'de verilmektedir.

Çizelge 2.4 : Anaerobik arıtma için optimum çevre şartları (Öztürk, 2007).

Parametre	**Optimum Şartlar**
KOİ/N/P	300/5/1
Arıtılan Atığın Bileşimi	Karbon, temel (N,P) ve iz elementler bakımından dengeli olmalı, O_2, NO_3, H_2O_2, SO_4 gibi oksitleyici maddeler, toksik ve inhibitör elementler içermemelidir.
pH	6,5-8,2
Sıcaklık	25-40 (35-37)^oC 50-60 (55)^oC
Alkalinite	1000-4000 (2000) mg/L $CaCO_3$
Toplam Uçucu Asit (TUA)	<1000-1500 mg/L Asetik asit olarak
TUA/Alkalinite	<0,1

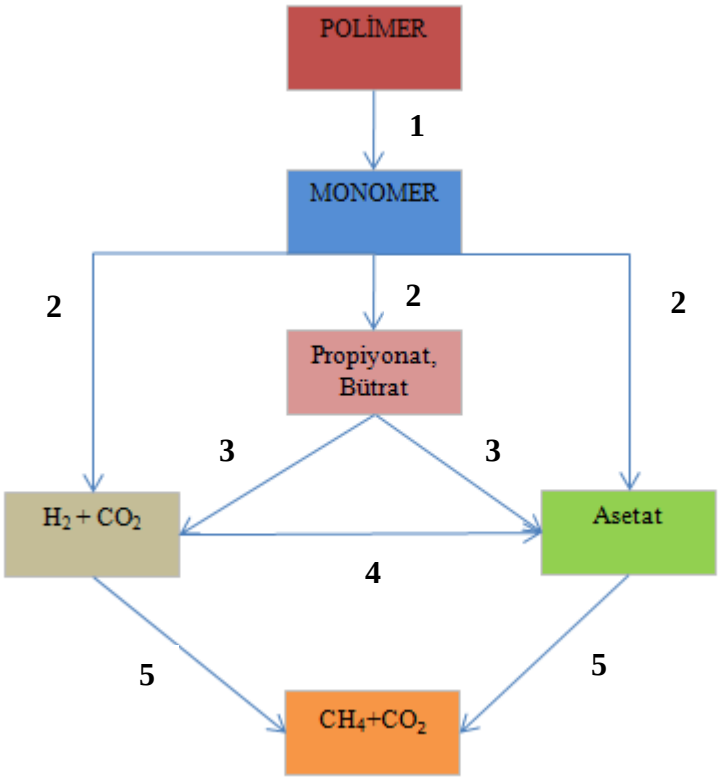
2.5. Anaerobik Fermantasyon Mikrobiyolojisi

Anaerobik arıtma farklı mikroorganizmaların birlikte çalışarak gerçekleştirdiği kompleks bir biyokimyasal bir süreçtir ve genel olarak asit üreten bakteriler ve metan arkerleri esas olarak görev almaktadır. Baskın olan bu iki grup ise kendi arasında da bir alt gruba ayrılmaktadır (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5 : Başlıca anaerobik mikroorganizma grupları (Öztürk, 2007).

Asit Bakterileri	Bütirik ve propiyonik asit üretenler
	Asetik asit üretenler
Metan Arkeleri	Asetik asit kullananlar
	Hidrojen kullananlar

Anaerobik sistemlerde organik maddelerin parçalanması esnasında görev alan baskın mikroorganizma türleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.



1.Hidroliz enzimleri

2. Fermantasyon bakterileri

3.Sintrofik asetojenik bakteriler

4.Homoasetojenik bakteriler

5. Metan arkleri

Şekil 2.12 : Anaerobik parçalanmada görev alan baskın mikroorganizma türleri (Speece,1996).

2.6. Anaerobik Ayrışmayı Etkileyen Faktörler

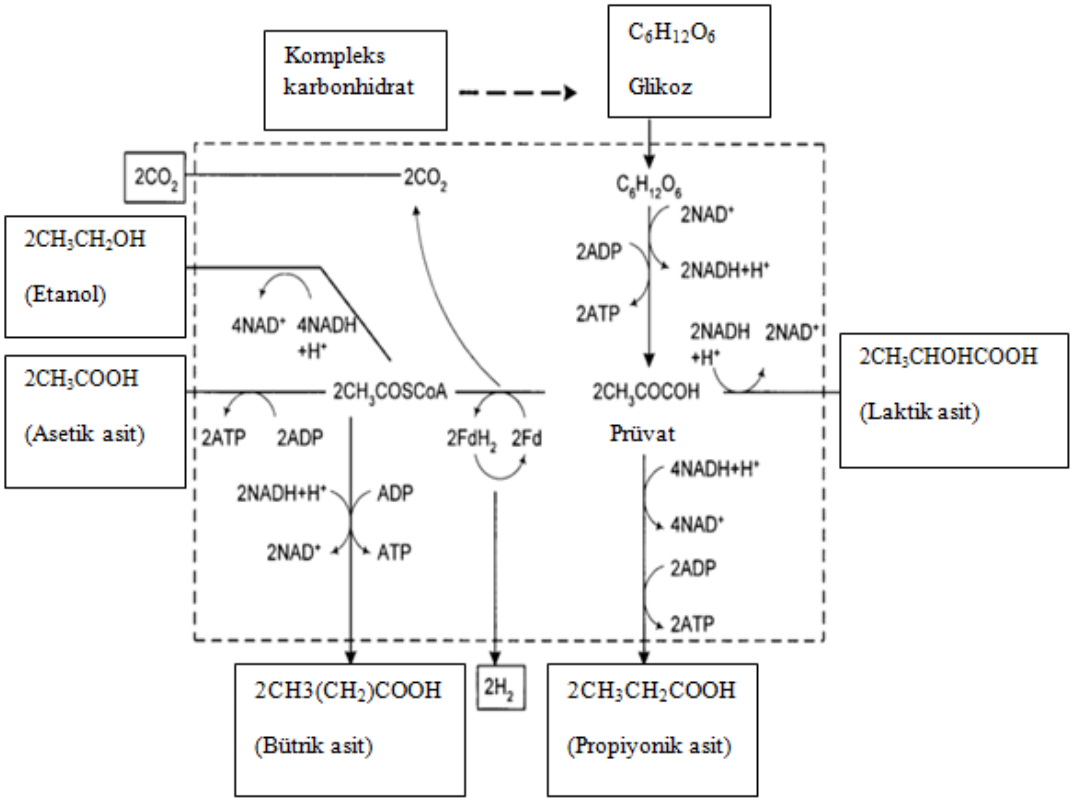
2.6.1. Besleme fraksiyonu (içeriği)

Anaerobik arıtma için uygun atıklar şöyle sıralanabilir;

- Şehir atıklarının organik içeriği
- Arıtma çamuru
- Hayvan atıkları
- Tarımsal kalıntılar
- Bahçe atıkları

- Gıda endüstrisi atıkları (Sebze ve meyve)
- Mezbaha ve kümes atıkları
- Biyogaz üretilen bitki atıkları
- Alg biokütleleri
- Atık kağıt

Organik atıklar; karbonhidrat, lipit, protein ve selüloz içerir ve maddelerin miktarı atıkların, anaerobik olarak arıtılabilirliği etkiler. Hemen hemen bütün karbonhidratlar kolayca ayrışabilir iken, proteinler, lipitler ve selülozların ayrışması daha zordur ve daha uzun hidroliz zamanı gerekir. Karbonhidratlar, yeşil yapraklı bitkiler tarafından karbondioksitin glikoza dönüştürüldüğü bir proses olan fotosentez boyunca üretilir. Bu bileşikler polimer veya makromoleküller olarak adlandırılır ve fazla miktarda monosakkaritden (şeker monomerinden) oluşur. Çözünmez formları ise, anaerobik ayrışmadan önce daha küçük çözünebilen şekerlere hidrolize edilmelidir.



Şekil 2.13 : Karbonhidratların Fermantasyonu (Yılmaz ve İzbul, 2010).

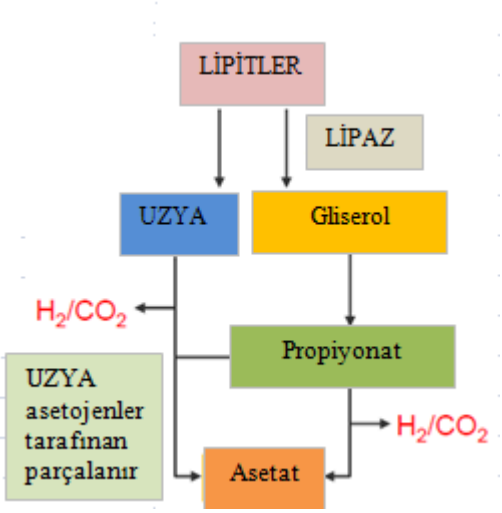
Hayvansal ve bitkisel yağlar, atıklar içerisinde en çok karşılaşılan lipitler olup anaerobik ayrışmaya engelleyebilirler ve ayrıca mikroorganizmaların yüzeyine tutunarak kütle transferi problemlerine yol açabilirler.

Lipitler, lipaz enzimi ile hidrolize edilerek gliserol ve uzun zincirli yağ asitlerine dönüştürülür (Şekil 2.14).

Asidojen bakterileri tarafından gliserolun fermantasyonu sonucu propiyonat oluşurken, uzun zincirli yağ asitleri ise asetata (propiyonata) ya da hidrojene çevirilir (Şekil 2.15).



Şekil 2.14 : Gliserol ve yağ asidinin genel iskelet formülü.



Şekil 2.15 : Lipitlerin fermantasyonu (Gavala ve diğ., 2003).

Bu dönüşüm termodinamik olarak sadece düşük hidrojen basıncında avantajlıdır. Bununla birlikte lipitler, protein ve karbonhidratlar ile kıyaslandığında yüksek ayrışma kapasitesinden dolayı co-digestor için değerli substratlardır. Lipitlerin inhibitör etkisi uzun zincirli yağ asitlerine bağlıdır ve nötral lipitlerin daha az inhibitör etkisi vardır (Gavala ve diğ., 2003).

Ancak lipit hidrolizinde, lipazın aktive olması için bir ara yüz gerekli olup, bu enzimin seçiciliğinden dolayı oluşan ürün birikimi nedeniyle inhibe edilebilmektedir. Uzun zincirli yağ asitleri katı-sıvı ara yüzeyinde kalır ve bu nedenle lipaz enziminin aktivitesini ve/veya bakteri hücrelerinin nakil kanallarına zarar verebilir.

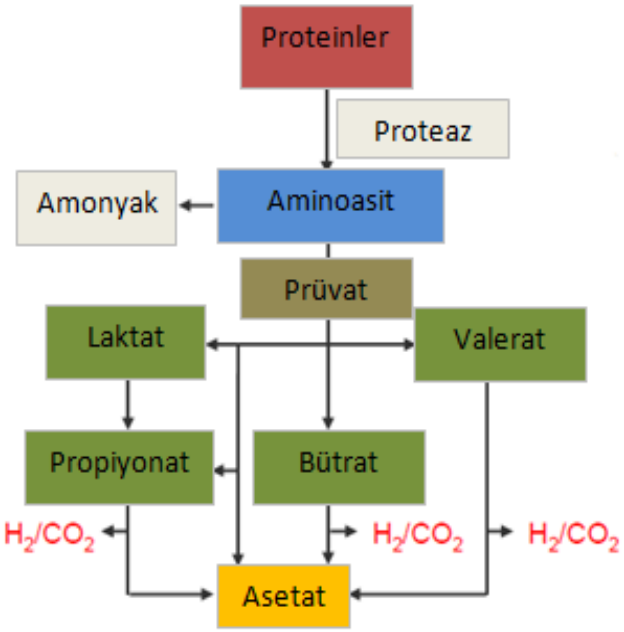
Proteinler şehirsel atıklarda, hayvan atıklarında, kanalizasyon çamurlarında bulunan temel azotlu atıklardır. amino asitlerin zincir halinde birbirlerine bağlanmasından oluşan büyük organik bileşiklerdir. Açlık anında en son tüketilir. Kimyasal sindirimi midede başlamaktadır.

Bu moleküller geniş yüzey alanına sahiptir ve suda çözünmezler. Proteinler düz zincirli veya halkalı yapıya sahip aminoasitlerden oluşur. Halkalı veya düz yapıya sahip aminoasitlerin hepsi bir amino grubu ($-NH_2$) ve bir karboksili grubu (-COOH) içerir.

Polisakkaritler, nükleik asitler ve yağlar gibi biyolojik makromoleküllere benzer şekilde, proteinler de canlı organizmaların temel bileşenlerindendir ve hücrelerin içindeki her süreçte yer alırlar.

Çoğu protein, biyokimyasal tepkimelerde katalizör işlevi olan enzimlerdir ve metabolizma için yaşamsal bir role sahiptir. Başka proteinlerin ise yapısal veya mekanik işlevleri vardır: örneğin hücre iskeletindeki proteinler, hücrenin şeklini koruması için bir iskele görevi yaparlar.

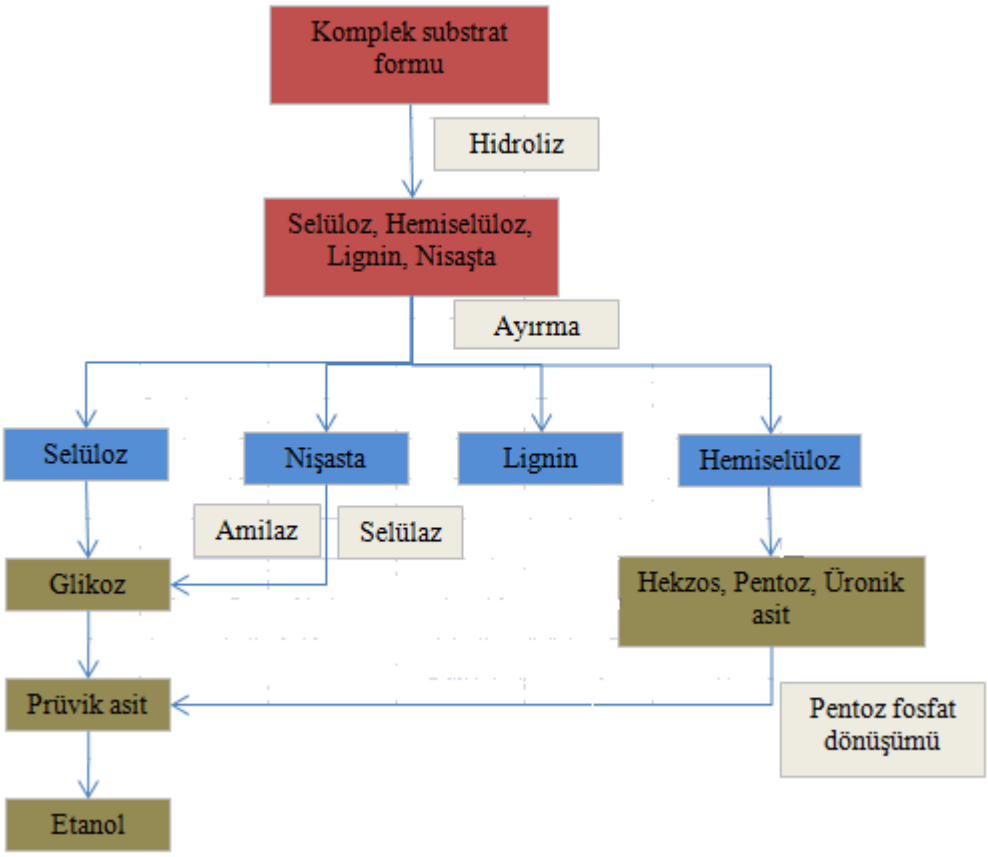
Proteinler hücre haberleşmesi, bağışıklık yanıtı, hücre tutunması ve hücre bölünme döngüsünde yer alır.



Şekil 2.16 : Proteinlerin fermantasyonu (Gavala ve diğ., 2003).

Proteinler, çeşitli hücre dışı proteaz enzimleri ile aminoasitlere hidrolize edilmektedir. Hidroliz oranı ise pH'ya ve proteinlerin çözünürlüğüne bağlı olarak değişmektedir. Aminoasitlerin fermantasyonun da prüvat önemli bir ara ürün olup, laktat, valerat, propiyonat, bütrat gibi farklı ürünler de oluşabilmektedir. Proteinlerin fermantasyonun da ise asetat son ürün olmaktadır.

Lignoselüloz, bitkilerin hücre duvarının bileşeni olup, lignin, selüloz ve hemi-selüloz içerir. Fermantasyonu ve hidrolizi partikül boyutu, nem (su) içeriği, selülozun kristallik derecesi, uygun yüzey alanı ve lignin içeriği gibi faktörler ile sınrlıdır. Lignoselüloz sebze ve meyve atıklarında, bahçe atıklarında, tarım ve yemek üreten endüstrilerin kalıntıları, geri dönüştürülemeyen kağıtlar ve hayvan atıklarında bulunur.



Şekil 2.17 : Lignoselülozun hidrolizi (Gavala ve diğ., 2003).

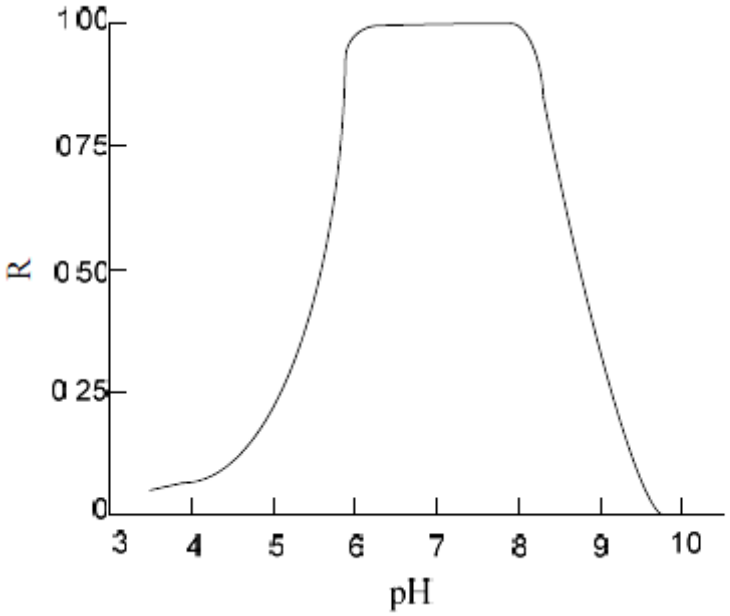
Selülozun dirençli kristal yapısı ve selülozun etrafını çeviren ligninin fiziksel bir bariyer oluşturmasından dolayı lignoselülozun enzimatik bozunma oranı düşüktür. Yapılacak olan bir ön arıtma ile ligninin yapısı değiştirilerek ve hidroliz enzimlerinin selüloza erişilebilirliği arttırılarak, hidroliz ve fermantasyon oranı arttırılabilir.

Selüloz ve hemiselüloz düşük moleküler ağırlıklı şeker bileşenlerine hidrolize edilir (Şekil 2.17). Lignoselüloz çoğunlukla bitkilerin hücre duvarının yapısında bulunur.

2.6.2 pH ve sıcaklık

Anaerobik fermantasyon adımlarını düzenlemek için en önemli parametredir. pH 4-5 in altına düşerse, karbonhidrat fermantasyonunda organik asit üretimi, alkol üretimine doğru kayar. Bu nedenle pH ayarlaması hedeflenen fermantasyon son ürününü elde etmek için çok önemli parametre olduğunu kanıtlar. Metan arkeleri zayıf asidik koşullar altında bile inhibe olabilmektedir.

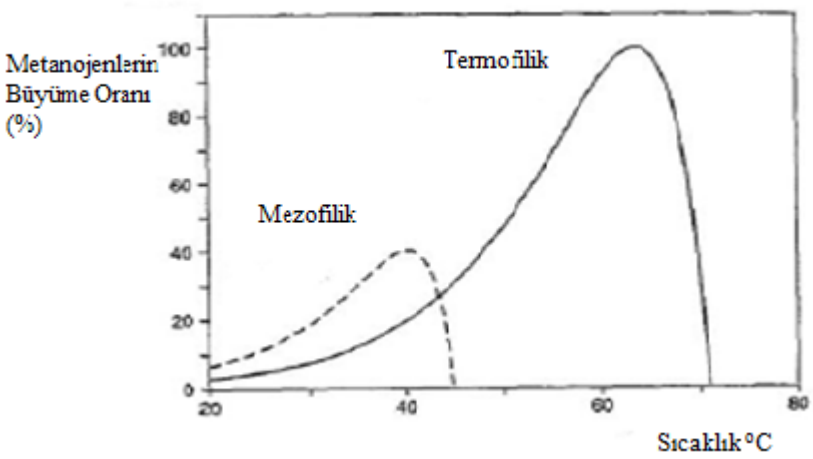
Şekil 2.17' de anaerobik fermantasyon basamaklarında yer alan mikroorganizmalar için optimum pH aralıkları verilmiştir.



Şekil 2.18 : Metan bakterilerinin aktivite değişimi (Öztürk, 1999).

Anaerobik arıtmada üç esas sıcaklık aralığı vardır. Bunlar sakrofilik 10-20^{o}C (optimum 17^{o}C), mezofilik 25-40^{o}C (optimum 35^{o}C) ve termofilik 50-60^{o}C (optimum 55^{o}C) olarak belirlenir. Sıcaklık arttıkça katılar daha kısa zamanda hidrolize olacak ve böylece fermantasyon hızı da artacaktır. Metan üretimi sıcaklık arttıkça artarak 35 ^{o}C'de birinci pik değerine ulaşır ve 45^{o}C civarında bir sınır ayırt edilir (Öztürk, 2007).

Bu değerin üzerinde termofilik kademe başlar ve metan üretimi 55-65 ^{o}C maksimum değerine ulaşıncaya kadar yeniden artar (Öztürk, 2007).



Şekil 2.19 : Sıcaklığın mikroorganizmaların çoğalmaları üzerin etkisi (Verma, 2002).

Genel uygulamalara bakıldığında anaerobik arıtmada başlıca iki sıcaklık aralığı vardır. Bunlar literatürde mezofilik (25-40℃) ve termofilik (50-60℃) sıcaklık kademeleri olarak adlandırılır. Mezofilik reaktörde optimum sıcaklık 35℃, termofilik reaktörde optimum sıcaklık ise 55℃'dir. Termofilik sıcaklık 50–60℃ arasında olmasına rağmen gerekli bekletme zamanını azaltmak ve hidroliz safhasını hızlandırmak ve hidroliz oranını arttırmak için daha yüksek sıcaklıklarda da çalışmalar yapılır (Juanga, 2005). Nadir olarak aşırı termofilik sıcaklıkta (70℃) çalışmalar yapılmıştır. Bu sıcaklık değerinde metan üretim performansıyla ilgili literatür çalışmalarına aşağıda yer verilmiştir.

2.6.3.Organik yükleme hızı

Organik yükleme hızı, birim hacim (m^3) biyoreaktörlere günlük olarak beslenen organik madde miktarı olarak tarif edilmektedir. Organik yükleme hızı anaerobik parçalanmada diğer kontrol parametreleri gibi önemli bir parametredir. Yüksek organik yükleme hızında daha fazla bakteriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Anaerobik çürütücüde maksimum organik yükleme hızı; reaktör tasarımı, biyokütle elde edilmesi ve biyokütle aktivitesi gibi parametrelere bağlıdır. Speece (1996) organik yükleme hızına etki eden çeşitli faktörleri;

1) Anaerobik reaktörde alıkonulan yaşayabilecek durumda olan biyokütle

2) Giren atık su ve alıkonulan biyokütle arasındaki kütle transferi

3) Metabolizma ve hidrojen arasındaki biyokütle yakınlığı şeklinde

sıralamaktadır.

Şeker gibi kolayca parçalanabilen substratlar için, asidojenik reaksiyonlar oldukça hızlıdır ve yüksek organik yükler, reaktörlerin uçucu yağ asidi üretim oranını arttırabilir. Buna rağmen yüksek konsantrasyonlarda asit üretimi nedeniyle düşen pH, fermantasyon reaksiyonunu inhibe edebilmektedir. Organik yükleme hızı arttığında, organik asit üretimi asetat ve bütrattan, propiyonat ve laktata doğru kayar (Yılmaz ve İzbul, 2010).

2.6.4.Hidrolik bekletme süresi

Bekleme süresi, atık içindeki organik maddelerin bakteriler tarafından çürütülmesi sonucu biyogaz üretmesi için gerekli olan süre olarak tarif edilmektedir. Bu aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir (Verma, 2002);

$$\text{Hidrolik Bekletme Süresi} = \frac{\textbf{reaktör hacmi}}{\textbf{günlük debi}} = \frac{m^3}{m^3/\text{gün}} \qquad \text{(Denklem 2.4)}$$

Atığın ya da hammaddenin reaktör içerisinde kaldığı zaman dilimine bekletme süresi olarak adlandırılmaktadır. Reaktörün içerisindeki atığın parçalanması için uygun koşullarda bekletilmesi gerekmektedir ve reaksiyonun hızı, hidrolik bekletme süresinin artmasıyla azalmaktadır. Hidrolik bekletme süresinin saptanması için; reaksiyona giren madde içeriği, proses sıcaklığı, çevre koşulları ve kullanılan çürütücünün tasarımına bağlıdır (Arıkan, 2008). Reaktör sıcaklığı arttıkça bekleme süresi düşer. Yüksek sıcaklıkta biyokimyasal reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleşmektedir (Speece,1996).

Mezofilik çürütücülerde atık parçalanması için bekletme süresi 10–40 gün arasındadır. Termofilik şartlarda işletilen yüksek katı içeren reaktörde, bekletme süresi 14 gündür (Verma, 2002). Reaktör içindeki bazı organik maddeler tam olarak biyokimyasal reaksiyona girdiğinde, zamanla gaz üretimi azalmaya başlar. Seçilen bekleme süresi içinde besi maddelerinin % 70–80 oranında biyokimyasal reaksiyona girerek bertaraf olduğu kabul edilir (Öztürk, 2005).

Singh ve ark. 1984 yılında yaptıkları sığır atıklarının günlük beslemeli anaerobik çürütücüde çürütülmesi çalışmasında atıktaki katı içeriğinin artmasıyla optimum bekleme hızının da arttığını bildirmişlerdir.

Solera ve ark. 2002 yılında iki aşamalı anaerobik çürütücüde asetojenik reaktörde 4 ve 1,7 gün bekleme sürelerinde yaptıkları çalışmada 4 günlük bekleme süresinde toplam mikrobiyal populasyonun daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir.

2.6.5 C/N oranı

Hayvan atıkları, insan atıkları, mutfak atıkları belli bir oranda azot, oksijen ve karbon içermektedir. Organik madde içerisindeki karbon, anaerobik bakterilerin enerji ihtiyacını karşılamaktadır. Azot bakterilerin büyümesi ve çoğalması için gerekli olup, karbon-azot oranı anaerobik çürütme prosesinin performansını tanımlamaktadır. Mikroorganizmalar tarafından kullanılmayan ihtiyaç fazlası azot genellikle amonyak gazı olarak prosesten atılmaktadır.

Anaerobik sistemde kullanılacak olan atığın veya besi maddesinin yapısında azot bulunmasının faydaları; aminoasitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin sentezi için gerekli elementi sağlaması ve amonyağa dönüşen azotun uçucu yağ asitlerini tamponlayarak pH'ın düşmesinin önlenmesidir (Arıkan,2008). Anaerobik çürümeden yüksek verim elde etmek ve çürümenin tam olarak gerçekleşmesi için C/N oranı 30/1 olduğu bilinmektedir (Ekinci, 2007). C/N oranı 10/1'den küçük olduğunda bakterilerin büyümesini engellemektedir (Arıkan, 2008).

Düşük C/N oranı ise metanojen bakterilere zehirleyici etki yapan pH 8,5 değeri üzerinde amonyak birikmesiyle sonuçlanır (Verma, 2002).

2.6.6. Toksisite

Anaerobik arıtmada ağır metaller, oksijen, mineral iyonlar,sülfit, kısa zincirli organik asitler ve diğer organik asitler mikroorganizmaların büyümelerini engelleyerek toksik etki yapabilirler (Hwu ve diğ., 1997). Bu inhibitörler ve toksik etki yapan maddeler, metabolik faaliyetleri etkileyebilmekte ve sisteme atıksu yoluyla girebilmekte veya metabolik faaliyetler sonucu oluşabilmektedir (Sezer, 2010). Ağır metal zehirlenmesi birçok anaerobik proseste problemdir.

Çinko, bakır, nikel, krom, kurşun gibi ağır metaller çok az miktarlarda mikrobiyal büyümeyi önemli ölçüde arttırırken, yüksek konsantrasyonlarda ise toksiktirler (Karri ve diğ., 2005). Anaerobik parçalanmaya etki eden birçok çözünmüş zehirleyici, yavaşlatıcı, engelleyici organik ve inorganik maddeler vardır (Mignone, 2005). Çizelge 2.6'de bazı ağır metallerin çözülebilir zehirlilik seviyeleri verilmektedir. Çizelge 2.7'de anaerobik çürütme proseslerinde görülen ağır metal zehirlenmesinin bulunma durumları verilmektedir.

Sistemde, ağır metal seviyesi çizelgelerde belirtilen seviyelerin üzerine çıktığında sistemde inhibe etkisi gösterecektir. Bu durum sistem performansını etkileyecek, sistemin istenilen verim alınamayacaktır.

Çizelge 2.6 : Anaerobik çürütme proseslerinde ağır metallerin çözülebilir zehirlilik seviyeleri (Mignone, 2005).

Ağır metal	Zehirlilik Seviyeleri (mg/L)
Arsenik	0,5-1 mg/L
Kadmiyum	0,01-0,02 mg/L
Krom	1,0-1,5 mg/L
Bakır	0,5-1,0 mg/L
Nikel	0,5-2,0 mg/L
Çinko	0,5-1,0 mg/L

Çizelge 2.7 : Anaerobik arıtmada görülen ağır metaller (Mignone, 2005).

Devamlı bulunanlar	Sık sık bulunanlar	Ara sıra bulunanlar
Kadmiyum	Arsenik	Alüminyum
Krom	Demir	Kobalt
Bakır	Manganez	Selenyum
Kurşun		
Nikel	Civa	Kalay
Çinko	Gümüş	

2.7 Anaerobik Arıtmada Tek ve İki Kademeli Sistemler

Anaerobik arıtma sürecinde gerçekleşen reaksiyonlar farklı optimum çevresel şartları gerektirmektedir. Bu sebeple iki veya daha fazla kademeli sistemler geliştirilmiştir. Anaerobik arıtma sürecinin farklı adımlarında gerçekleşen reaksiyonları, ayrı ayrı reaktörlerde optimize etmek reaksiyon hızını ve biogaz miktarını arttırabilir (Ghosh ve diğ., 1999).

Bu amaçla genelde 2 kademeli sistemler kullanılır ve birinci reaktörde hidrolizin hız sınırlayıcı kademe olduğu hidroliz-asidifikasyon reaksiyonları gerçekleşmekte, ikinci reaktörde ise yavaş mikrobiyal büyümenin hız sınırlayıcı olduğu asetojenesis ve metanojenesis reaksiyonları gerçekleşmektedir. (Liu ve Ghosh, 1997; Palmowski ve Müller, 1999).

Bu iki ana kademe farklı reaktörlerde gerçekleştiğinden, metan üretiminin gerçekleştiği ikinci reaktörü yüksek biyokütle konsantrasyonlarında ve yüksek çamur yaşlarında çalıştırmak mümkündür (Weiland, 1992; Kübler ve Wild, 1992).

Ayrıca faz ayırımına gitmek suretiyle havasız arıtmada organik yükün %50'ye yakın oranda arttırılması mümkündür. Böyle bir uygulama ile toplam hacimde de %30-40 oranında bir küçültme sağlanabilmektedir (Öztürk, 2007).

Çizelge 2.8'de Anaerobik reaktörler için tek kademeli ve iki kademeli sistemlerin avantaj ve dezavantajı verilmektedir.

Çizelge 2.8 : Anaerobik Reaktörlerde Tek ve İki Kademeli İşletmenin Karşılaştırılması (Öztürk, 2007).

	Tek Kademeli İşletme	**İki Kademeli İşletme**
Avantajları	✓ Daha az yatırım maliyeti ✓ İşletme ve kontrol kolaylığı	✓ Daha hızlı işletmeye alma ✓ Prosesin daha kararlı olması ✓ Arıtma veriminin daha yüksek olması ✓ Katı organik hımaddelerin daha iyi parçalanması
Dezavantajları	✓ Daha uzun sürede işletmeye alma ✓ Daha kararsız proses ✓ Organik yük değişimlerine daha hassas oluşu	✓ Daha yüksek yatırım maliyeti ✓ Kontrolün daha zor oluşu ✓ Dikkatli pH kontrolü gerekliliği

İki kademeli sistemlerin işletilmesinin tek kademeli sistemlerden daha kompleks olması nedeniyle, beklenen hız ve biyogaz artışları her zaman elde edilemeyebilir (Weiland, 1992). İki kademeli sistemlerin en önemli üstünlüğü, tek kademeli sistemlerde kararsız performanslara yol açabilen bazı atık türlerinin daha kararlı bir şekilde arıtılabilmesidir.

Metan reaktörünün biyofiltre olarak tasarlandığı iki kademeli sistemlerde, yüksek biyokütle konsantrasyonları elde edilebilir. Bu nedenle iki kademeli sistemler inhibisyona karşı daha dayanıklıdır.

Özellikle hal atıkları gibi kolay hidroliz olup metan fazını inhibe edebilecek atık türlerinde iki kademeli sistemlerin kullanılması oldukça faydalıdır (Sezer, 2010). İki kademeli sistemlerin diğer bir üstünlüğü de yüksek organik yükleme hızlarında işletilebilmeleridir. BTA prosesinde 10 kg UKM/gün, Biopercloat sisteminde 15 kg UKM/gün organik yüklemeler yapılabilmektedir.

3.MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada; 2 litre çalışma hacmine sahip 3 adet reaktör kullanılmıştır. Bu reaktörlerden 2 tanesi, aşırı termofilik sıcaklık (70 ±1^{o}C) de, havasız sistemde tam karışımlı ve yarı kesikli olarak çalıştırılıp, Biyohidrojen ve Biyometan üretimi sağlanmıştır (Şekil 3.1).

Bu reaktörler tek kademeli ve iki kademeli arıtım sağlayacak şekilde işletilmiştir. Su banyosunda bulunan ve iki kademeli işletilen Biyohidrojen reaktörünün (70 ±1^{o}C) çıkışı diğer mezofilik (37 ±1^{o}C) şartlar altında biyometan üretimine çalıştırılan reaktöre verilmiştir (Şekil 3.2).

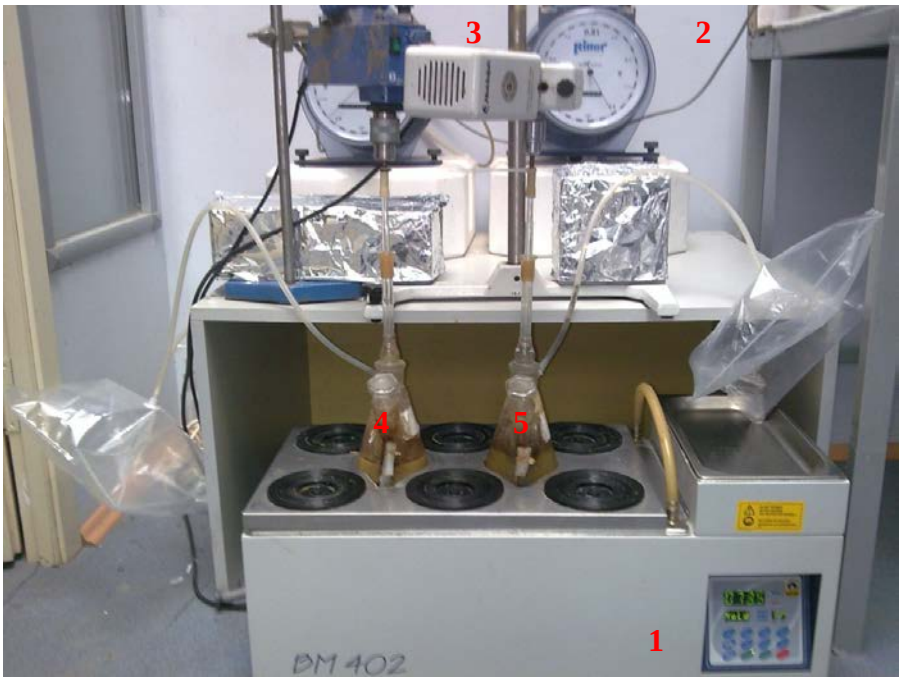
Su banyosundaki diğer reaktörde ise tek kademeli olarak işletilen (70 ±1^{o}C) biyometan gazı üretimi değerlendirilip, aynı şartlar altında çalışan biyohidrojen reaktörü ile performans bakımından bir karşılaştırma yapılmıştır.

Deney boyunca reaktörlerde pH kontrol edilmiş, gerekli durumlarda asit baz ilavesi yapılarak pH 7-7,6 aralığında çalıştırılmıştır. Reaktörler 17.01.2011 tarihinde işletmeye alınmıştır.

Bu zaman dilimi içerisinde reaktörlerden her 2 günde 1 alınmıştır. Alınan numuneler, reaktörlere giriş ve reaktörlerden çıkış şeklinde olmak üzere iki farklı şekilde, giriş numunesi alındığı gün çıkış numunesi alınmamış, tam tersi olarak çıkış numunesi alındığı gün giriş numunesi alınmamıştır. Bu durumda ise her bir giriş ve çıkış numunesi ortalama 4'er günde 1 alınmıştır.

Ayrıca reaktörler belli zaman dilimi içinde sabit işletim performansı elde edildikten sonra beslemeler iki katına çıkartılmıştır. 17.01.2011 tarihinden önceki zamana denk gelen reaktörleri işletmeye alma dönemi yaklaşık 30 gün sürmüş olup bu süre boyunca numune alınmamıştır.

Bu süre zarfında sadece reaktörlerin performansının istenen seviyeye gelmesi için beklenmiş ve bu süre sonunda reaktörler istenen seviyeye gelmiştir.



Şekil 3.1 : 70 ±1^{o}C Biyohidrojen ve Biyometan Reaktörleri.

1) Su banyosu
2) Gazmetre
3) Mekanik karıştırıcılar
4) 70^{o}C Biyohidrojen reaktörü
5) 70^{o}C Biyometan reaktörü



Şekil 3.2 : 35±1^{o}C Biyometan Reaktörü.

3.1 Çevrim İçi Performans

Bu çalışma reaktörlerin işletildiği zaman dilimi boyunca iki kez tekrar edilmiştir. Katı madde miktarları arttırılırken reaktör içi performans değerlendirmesi yapılabilmesi için Çizelge 3.1'de verilen gün ve saatlerde reaktörlerden numune alınıp KM, UKM, toplam KOİ, çözünmüş KOİ, UYA analizleri yapılmıştır ve reaktör içi pH değerleri kaydedilmiştir. Ayrıca yine belirlenen saatlerde gaz toplama balonlarında biriken biyogaz sağılarak gaz hacmi ölçülmüştür.

Reaktörlerde çevrim içi performans değerlendirilmesi için 10.02.2011 tarihinde rutin besleme yapılıp pH değerleri 7-7,5 arasında ayarlandıktan sonra reaktörler belirtilen periyotlarda izlenmeye başlamıştır. Bu süreç 14.02.2011 tarihine kadar sürmüştür. Böylelikle çevrim içi performans ortaya konmuştur. Bu çalışmanın ikinci kısmı 20.04.2011-24.04.2011 tarihleri arasında tekrarlanmıştır.

Yine daha önce yapılan çalışmada belirtilen zamanlarda reaktörlerden numune alınmış ve bu numunelere aynı analizler yapılmıştır. Her iki çalışmada elde edilen sonuçlar kıyaslanarak, sistemlerin performansı incelenmiştir.

Çizelge 3.1 : Çevrimiçi numune alınma zamanları.

TARİH VE SAATLER				
10.02.2011	**11.02.2011**	**12.02.2011**	**13.02.2011**	**14.02.2011**
09:00	07:30	08:30	10:30	10:30
13:00	11:30	18:30		
17:00	15:30			
21:00	19:30			

3.2 Aşı Karakterizasyonu

Çalışmada farklı özellikteki Kent Gıda, Biyometan, Biyohidrojen, Mey içki anaerobik aşıları kullanılmıştır. Kent Gıda aşısı benzer atık tipinin arıtımı için işletilen Kent Gıda şeker ve gıda üretim fabrikasından sağlanmıştır.

Biyometan ve Biyohidrojen aşıları ise İstanbul Teknik Üniversitesi Katı Atık Laboratuvarında işletilen Biyometan ve Biyohidrojen reaktörlerinden alınmıştır.

Mey aşısı ise alkollü içecekler üreten Mey içki Sanayi fabrikasından alınmıştır. Bu aşılar Çizelge 3.2'deki belirtildiği üzere reaktörler içerisinde kullanılmıştır.

Çizelge 3.2 : Reaktörlerde kullanılan aşı tipleri.

Aşılar	Reaktörler		Eklenen Aşı Mikarı (ml)
Biyometan	Mezofilik	37 ±1 ^{o}C	184,156
Biyohidrojen	Aşırı termofilik	70 ±1 ^{o}C	257,379
Kent Gıda	Mezofilik	37 ±1 ^{o}C	66,961
Mey İçki	Aşırı termofilik	70 ±1 ^{o}C	583,478

Çizelge 3.1'de belirtilen aşılar reaktörlere eklendikten sonra, hayvan ve yemek atıkları reaktörlere konarak, işletme aşamasına geçilmiştir. Kullanılan aşı karakterizasyonları ise Çizelge 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.3 : Aşı karakterizasyonu.

Aşı	KM %	UKM %	KOI mg/L	$KOİ_{çöz}$ mg/L
Biyometan	16,41	74,48	125000	100000
Biyohidrojen	12,53	93,04	130000	102000
Kent Gıda	11,58	96,69	120000	100000
Mey İçki	5,56	92,43	128500	108000

3.3 Atık Karakterizasyonu

Reaktöre beslenen organik atık İstanbul Teknik Üniversitesi yemekhanesinden alınan yemek atığından oluşmuş ve atığın beslemeye elverişli olabilmesi ve nispeten homojen olabilmesi için önceden mekanik ön işlemden geçirilerek ezilip karıştırılmak suretiyle partikül boyutu küçültülmüştür.

Büyükbaş hayvan atığı direk olarak taze şekilde alınmış ve hiçbir ön işlemden geçirilmeden reaktörelere beslenmiştir. Her iki atık türü de +4 ℃'de muhafaza edilmiştir. Reaktörlere beslenen atık türü, öğütülmüş yemekhane atığı ve büyükbaş havyan atığı karışımıdır.

Karışım hazırlanırken her iki atıktan hesaplanan miktarlarda alınmış ve mikserle daha küçük partikül boyutuna getirilmiştir. Karışımlar günlük olarak hazırlanarak, besleme yapılacağı zamanlarda +4 ℃'de muhafaza edildiği dolaptan çıkarılmış ve büyükbaş hayvan atığı ile beraber reaktörlere beslemesi yapılmıştır. Atık karakterizasyonuna ait bilgiler Çizelge 3.4'de verilmektedir.

Çizelge 3.4 Atık karakterizasyonu.

ATIK TÜRÜ	TKM (mg/L)	TKM (%)	TUKM (mg/L)	TUKM (%)	KOI_{top} (mg/L)	$KOI_{çöz}$ (mg/L)	pH
Büyükbaş Hayvan Atığı 15.08.2010	141431	14,14	131542	88,01	175641	76030	7,9
Büyükbaş Hayvan Atığı 19.04.2011	130845	13,08	116407	88,96	163691	65494	7,8
Yemekhane Atığı 15.08.2010	255765	25,57	192514	75,27			6,1
Yemekhane Atığı 19.04.2011	242588	24,25	185550	76,49	373781	117346	6,4

3.4 Deneysel Düzenek

70±1 ^{o}C'de işletilen, Biyohidrojen reaktörüne 257mL Biyohidrojen aşısı, Biyometan reaktörüne ise 584 mL Mey aşısı konmuştur. 37±1 ^{o}C'de işletilen Biyometan reaktörüne ise 67 mL Kent Gıda aşısı, 184 mL Biyometan aşısı konmuştur. Reaktörlerin aşısı konduktan sonra sistem yarı kesikli olarak beslenmeye başlanmıştır. Hazırlanan hayvan ve yemekhane atığı karışımı ise katı madde oranları %50'ye %50 olacak şekilde tartılıp, reaktörlere beslenmiştir. Reaktörün geri kalan kısmına 2 litreye tamamlanacak şekilde musluk suyu ilave edilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında aşıyı alıştırmak için organik yüklemesi giderek artacak şekilde, beslenen atık miktarı kademeli olarak arttırılarak beslenmiştir. İlk aşamadaki beslenen atığın katı madde miktarı %1,7 olacak şekilde ayarlanmıştır. Yapılan rutin besleme işlemlerinden sonra reaktörlerin katı madde miktarlarını arttırmak amacıyla, reaktörlere beslenen katı atık madde miktarı %3 oranına katına çıkartılmıştır. Böylece reaktörlerin katı madde miktarları belli bir zaman aralığında artırılarak işletilmeye devam edilmiştir. Reaktörlere ilk besleme işlemi şu şekilde yapılmıştır; 70±1^{o}C'de işletilen Biyohidrojen reaktörü içerisinden 1000 ml karışım çekilmiştir ve çekilen karışımın 100 ml'si yapılacak olan analizler için +4 ^{o}C'de saklanmıştır.

Karışım çekildikten sonra 15,6 gr yemekhane atığı, 24,1 gr hayvan atığı tartılıp 1000 mL musluk suyunda çözülüp, reaktöre beslenmiştir. 70±1 ^{o}C'de işletilen Biyohidrojen reaktöründen çekilen karışımın 300 mL'si ise, 35±1^{o}C'de işletilen Biyometan reaktörüne beslenmiştir. 70±1 ^{o}C'de işletilen Biyometan reaktörüne ise, 400 ml karışım konularak beslenmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonrasında sistemlerin pH'ını 7-7,5 seviyelerine ayarlamak için gerekli olduğu takdirde asit veya baz ilavesi yapılarak, pH seviyesi sabitlenmiştir**.** Reaktörlerin işletme süresi boyunca, beslenen atık miktarları ve atıkların katı madde yüzdeleri, hacimsel yükleme hızı, Hidrolik besletme süresi Çizelge 3.5'de verilmektedir.

Çizelge 3.5 : İşletme Süresi Boyunca Reaktörlerin Durumu.

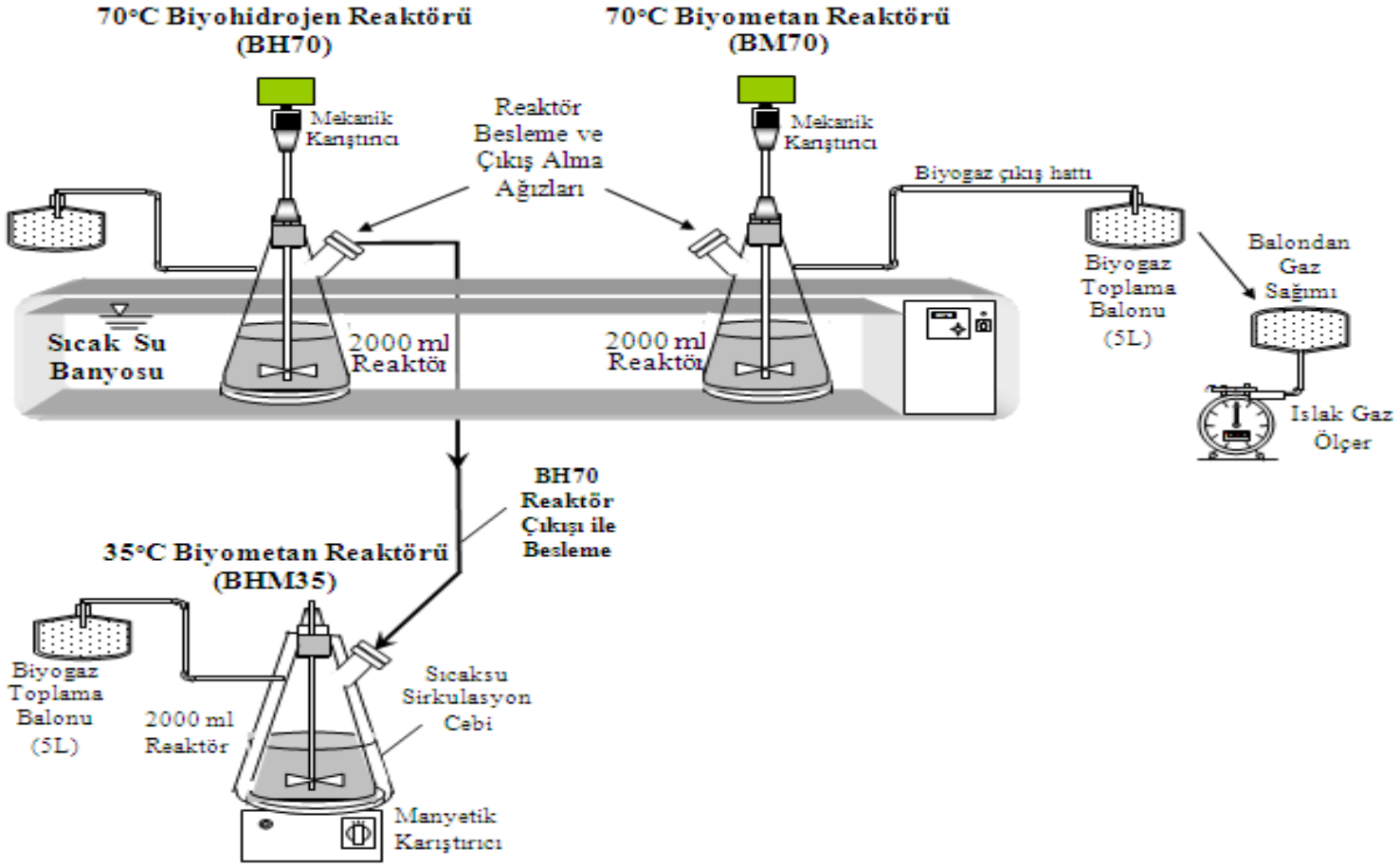
		Beslenen hayvan atığı miktarı gr	**Beslenen yemekhane atığı miktarı gr**	**Beslenen hayvan ve yemekhane atığı katı madde yüzdesi (%)**	**Hidrolik bekletme süresi gün^{-1}**	**Hacimsel yükleme hızı gUKM/L.gün**
BH70	**Dönem 1 17.01.2011**	60,24	38,96	1,7	4	3,75
	Dönem 2 14.02.2011	120,48	77,93	3,0	4	7,5
	Dönem 3 21.04.2011	240,97	155,86	6,0	4	15
BM70	**Dönem 1 17.01.2011**	24,09	15,58	1,7	10	1,5
	Dönem 2 14.02.2011	48,19	31,17	3,0	10	3
	Dönem 3 21.04.2011	96,38	62,34	6,0	10	6
BHM35	**Dönem 1 17.01.2011**	24,09	15,58	1,7	13,6	1,5
	Dönem 2 14.02.2011	48,19	31,17	3,0	13,6	3
	Dönem 3 21.04.2011	96,38	62,34	6,0	13,6	6

3.5 Proses Akım Şeması

70±1 ^{o}C'de işletilen Biyohidrojen ve Biyometan reaktörlerinden sırasıyla 1000 ml ve 400 ml çıkış numune alınmıştır. 35±1 ^{o}C'de işletilen Biyometan reaktöründen ise 300 ml çıkış numune çekilmiştir. Çekilen numunelerin her birinden 100 ml analiz yapılabilmesi için +4 derecede saklanmıştır. Biyohidrojen ve Biyometan reaktörlerine yemekhane ve hayvan atıkları doğrudan olarak beslenmekte olup, beslemeler her iki günde bir yapılmıştır. Beslenen atık miktarları ise yapılan hesaplar sonucu elde edilmiştir ve bu miktarlar Çizelge 3.4'de verilmiştir. 35±1 ^{o}C'de işletilen Biyometan reaktörünün beslemesi, Biyohidrojen reaktöründen çekilen 300 ml çıkış numunesi ile yapılmıştır. Reaktörlerin işletim süresi boyunca beslemeye devam edilmiştir. Proses akım şeması Şekil 3.3'de verilmektedir. Reaktörler ve kullanılan kısaltmaları Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Reaktörler ve Kısa İsimleri.

Reaktörler	**Kısa İsimleri**
Biyohidrojen 70 ^{0}C	BH70
Biyometan 70 ^{0}C	BM70
Biyometan 35 ^{0}C (Biyohidrojen çıkışıyla beslenen)	BHM35



Şekil 3.3: Reaktörlerin şematik çizimi.

3.6 Reaktörlerin İzlenmesi

Anaerobik reaktörler 02.12.2010 tarihinde çalıştırılmaya başlanmış ve 30 günlük devreye alma aşamasından sonra 17.01.2011 tarihinden 01.08.2011 tarihine kadar rutin olarak beslenmiştir. Böylelikle numuneler alınmaya ve reaktörler ayrı ayrı izlenmeye başlamıştır. Yaklaşık olarak 210 günlük süre boyunca haftada 3-4 numune alınarak reaktörlerin performanslarındaki değişimler izlenmiştir. Numune alma sıklıkları reaktörlere göre aşağıdaki Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 : Numune alma sıklığı.

Reaktör	**Numune alma sıklığı**
BH70	3-4Numune/Haftada (2 günde 1)
BM70	3-4Numune/Haftada (2 günde 1)
BHM35	3-4Numune/Haftada (2 günde 1)

Numuneler, besleme yapıldığı gün beslemeden hemen sonra alınan reaktör içi giriş numuneleri ve 2. günün sonunda besleme yapılmadan önce alınan reaktör içi çıkış numuneleri olarak alınmıştır. Bu numunelerde toplam ve çözünmüş KOİ, toplam katı madde (KM), toplam uçucu katı madde (UKM), alkalinite, UYA ve pH analizleri yapılmıştır. Ayrıca haftada yaklaşık 4 gün reaktörlere bağlı gaz balonlarında iki besleme arasında biriken gaz hacimleri ve gaz bileşimleri ölçülmüştür. Numunelerdeki ölçüm sıklıkları ise Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 : Numunelerde yapılan ölçüm sıklıkları.

Parametre	**Ölçüm Sıklığı**
KM	4/Hafta
UKM	4/Hafta
KOİ	3/Hafta
$KOİ_{çöz}$	3/Hafta

Çizelge 3.8 (devam) : Numunelerde yapılan ölçüm sıklıkları.

Parametre	Ölçüm Sıklığı
pH	2 günde 1
Gaz miktarı	2 günde 1
Gaz bileşimi	2 günde 1

3.6.1 Sabit aşı/substrat ve farklı hayvan – yemekhane atığı oranlarında biyogaz üretim hızı ve potansiyeli

17.01.2010 – 01.08.2011 tarihleri arasında 3 adet reaktörde aşı / substrat oranı 2 olacak şekilde sabit tutulup, farklı hacimsel yükleme bazında büyükbaş hayvan atığı-yemekhane atığı olacak şekilde kurulmuş ve işletilmiştir. 20.04.2011 tarihinde alınan (reaktöre beslenen katı madde miktarı %3 iken) tüm reaktörlerden alınan aşı çamurları santrifüjden geçirilmek suretiyle susuzlaştırılmıştır.

Sonrasında KM ve UKM analizleri yapıldıktan sonra cam şişelere konulması gereken aşı çamuru ve atık miktarları hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada tartılan atık ve aşı miktarları 50 mL'lik şişelerin içine konmuştur. Şişelerin üzerine 10 mL'lik medium çözeltisi ilave edilmiştir. Şişelerin ağızları özel kapaklarıyla kapatılıp flushing yapılarak içerlerindeki hava alınmıştır.

Daha sonra şişeler işletilecekleri sıcaklıklara göre farklı ortamlarda saklanmıştır. İşletim sıcaklıkları 70 ve 35 ^{o}C olacak şekilde muhafaza edilmiştir. 70 ^{o}C muhafaza edilecek şişeler etüve, 35 ^{o}C işletilecek olan şişeler ise sıcak odaya bırakılmıştır. Bu aşamadan sonra, günlük olarak basınç ölçmek suretiyle gaz üretim verimleri belirlenmiştir. Şekil 3.4'de mezofilik ve termofilik şartlar altında işletilen şişeler gösterilmektedir.

Deneyin başlangıç aşamasında, şişeler çiftli çalışılmıştır. Bunun amacı şişelerin 1 tanesinden yapılacak analizler için gerekli olan 20 mL numune alınmasıdır. Son olarak, şişelerden 1 tanesine sadece aşı konmuştur ki bunun sebebi, bu şişeyi şahit olarak kullanmaktır.

Böylelikle diğer şişeler ile bir kıyaslama yapılabilecektir. Her bir reaktör için kurulan şişelerin yanına mutlaka en az 1 adet şahit konmuştur.



(a) Mezofilik



(**b)** Termofilik

Şekil 3.4 : Mezofilik ve Termofilik şartlar altında tutulan şişeler (a-BHM35) (b-BH70 ve BM70).

3.6.2 Farklı aşı/substrat oranları ve sabit hayvan – yemekhane atığı oranları

17.01.2010 – 01.08.2011 tarihleri arasında 3 adet reaktör de hayvan ve yemekhane atığı hacimsel yükleme bazında sabit tutulup (1:1), farklı aşı / substrat oranında kurulmuş ve işletilmiştir. 20.04.2011 tarihinde alınan (reaktöre beslenen katı madde miktarı %3 iken) tüm reaktörlerden alınan aşı çamurları santrifüjden geçirilmek suretiyle susuzlaştırılmıştır. Sonrasında KM ve UKM analizleri yapıldıktan sonra cam şişelere konulması gereken aşı çamuru ve atık miktarları hesaplanmıştır.

3.6.3 Farklı atık karışımı aşı/substrat çalışmasında kullanılan serum şişelerin hazırlanması

Tartılan atık ve aşı miktarları 50 mL'lik şişelerin içine konmuştur. Şişelerin üzerine 10 mL'lik medium çözeltisi ilave edilmiştir. Sonrasında 50 mL'ye tamamlanacak şekilde musluk suyu konulmuştur. Çözelti; anaerobik ortam için gerekli olan Asit Stok Çözeltisi (I), Alkali Stok Çözeltisi (II) ve resazurin ilavesi ile yapılan mineral çözeltisi içerisinde bulunabilecek O_2'nin giderilmesi için kaynatılmış ve N_2 gazından geçirilerek soğutulmuştur. Çizelge 3.9'da mineral çözeltilerin bileşimi verilmektedir. Mineral çözeltisi serum şişelerinin içerisine ilave edildikten sonra serum şişeleri kauçuk tapalar ve alüminyum kapaklar ile kapatılmıştır. Kapatılan serum şişelerine doldur boşalt ekipmanı ile 1.7 atm N_2-CO_2 gaz karışımı uygulanarak şişelerin içerisinde kalmış olabilecek O_2 gazı tasfiye edilmiş ve şişeler basınçlandırılmıştır.

Sonrasında tuzlar, vitaminler ve bikarbonat çözeltileri serum şişelerine eklenmiştir. Tamamen anaerobik şartların sağlanabilmesi için indirgeyici olarak $Na_2S.9H_2O$ eklenmiştir. Anaerobik şartların sağlandığından emin olduktan sonra serum şişeleri 37^oC sabit sıcaklıktaki odaya ve 70°C'de çalıştırılan etüve konularak inkübasyona bırakılmıştır.

Hazırlanan şişelerde belirli zaman aralıklarında elektronik manometre (Lutron, PM-9107, Taiwan) yardımıyla basınç (mbar) ölçülerek basınç artışı izlenmiştir. Basınç artışı sabitlenene kadar devam eden deney sonunda oluşan biyogazın içeriği ölçülmüştür. Toplam uçucu katı madde miktarı da belirlendikten sonra spesifik metan aktivite değerleri mgCH_4-KOİ/gUAKM.gün olarak verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Anaerobik mineral çözelti bileşimi.

Bileşikler	**Konsantrasyon, mg/L**
Besi Elementleri	
KH_2PO_4	408
$Na_2HPO_4.2H_2O$	534
NH_4Cl	360
NaCl	360
$MgCl_2.6H_2O$	120
$CaCl_2.2H_2O$	132
$NaHCO_3$	4000
İndirgeyici Ajan	
$Na_2S.9H_2O$	240
Anaerobik Kontrol Ajanı	
Resazurin	5
Asit Stok Çözeltisi (I)	
HCl	1.700
H_3BO_3	0.062
$MnCl_2$	0.061
$FeCl_2$	0.944
$CoCl_2$	0.065
$NiCl_2$	0.013
$ZnCl_2$	0.068
$CuCl_2$	0.050
$AlCl_3$	0.050
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$	0.050
Alkali Stok Çözeltisi (II)	
NaOH	0.400
Na_2SeO_3	0.017
Na_2WO_4	0.029
Na_2MoO_4	0.021

Çizelge 3.9 (devam): Anaerobik mineral çözelti bileşimi.

Vitaminler	
Biotin	0.02
Nicotinamid	0.20
p-Aminobenzoic acid	0.10
Thiamin (Vitamin B1)	0.20
Panthotenic acid	0.10
Pyridoxamine	0.50
Cyanocobalamine (Vitamin B12)	0.10
Riboflavine	0.10

3.7 Analitik Yöntemler

Kullanılan analitik yöntemler ölçülen ve analizi yapılan parametrelere göre belirlenmiştir. Bu parametreler toplam katı madde (KM), toplam uçucu katı madde (UKM), toplam ve çözünmüş KOİ, pH, çıkan gaz miktarı ve gaz bileşimidir. KM, UKM, TKN, $KOİ_{top}$ ve pH su ve atıksu analizleri için kullanılan Standart Yöntemlere göre analiz edilmiştir (Standart Methods for the Examination of Water & Wastewater, 2005). Çözünmüş KOİ ve çevrim içi çalışmadan alınan numunelerde uçucu yağ asiti (UYA) analizi için numuneler 15000 rpm'de 15 dakika boyunca sanrifüj edilmiş, santrifüj sonrasında elde edilen saydam üst faz süzülerek çözünmüş KOİ analizleri yapılmıştır. UYA analizleri için 15000 rpm'de 15 dakika santrifüj edilen numuneler Millipore PVDF filtre (0,22 μm) ile de süzülerek kullanılmıştır. UYA analizi yapılacak olan numuneler 2 mL'lik küçük şişelerde (GC için Agilent vial), 0,25 mL numune üzerine eklenen 0,2 mL 10 N H_3PO_4 ile birlikte hazırlanmış ve çift distile edilmiş suyla 2 mL'ye tamamlanıp $+4^oC$ soğutucuda saklanmıştır. UYA konsantrasyonları alev iyonlaşma dedektörü (FID) ve Innowax (silikon merkezli polimerler, polisiloksanlar, polietilen glikoller ve katı adsorbanlar) ile doldurulmuş kapiler kolon donanımlı gaz kromotograf (Agilent 6890N, ABD) ile saptanmıştır.

Gaz kromotografta enjeksiyon giriş ve dedektör sıcaklıkları sırasıyla 230^oC ve 250^oC'dir. Fırın sıcaklığı ilk 5 dakikada 100°C, sonraki 5 dakikada 160°C'ye yükselmekte olup 3 dakika sonrada 230°C'de sabitlenmektedir. Taşıyıcı gaz olarak 25 ml/dakika debide helyum kullanılmaktadır. İlaveten, 40 ml/dakika debide hidrojen

gazı da kullanılmaktadır. pH ölçümleri için bütün reaktörlerde Şekil 3.4'deki pH metre kullanılmıştır ve pH değerleri kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.5: Ölçümlerde kullanılan pH metre.

Reaktörlere bağlı gaz balonlarında her iki günlük süreç sonunda biriken gazın miktarı, balonların Ritter TG05 marka bir gaz ölçere geçirimsiz hortumlar vasıtasıyla bağlanarak sağılması, sağılma esnasında gazmetre üzerindeki göstergede ilk ve son değerler arasındaki farkın alınmasıyla hesaplanmıştır.



Şekil 3.6: Reaktörlere bağlı balonların gazının ölçülmesi için kullanılan gazmetre.

Oluşan biyogazın metan, karbondioksit ve hidrojen bileşimi ise ısıl iletkenlik dedektörü (TCD) donanımlı gaz kromotograf (Perichrom PR2100, Fransa) ile saptanmıştır. Taşıyıcı gaz olarak helyum ve azot kullanılmaktadır. Parametlerin belirlenmesinde kullanılan ölçüm yöntemleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10 : Numunelerin analizi için kullanılan ölçüm yöntemleri.

Parametre	**Ölçüm Yöntemi**
KM	APHA, 2005
UKM	APHA, 1998
KOİ	ISO6060
$KOİ_{çöz}$	ISO6060
pH	APHA, 1998
UYA	APHA, 1998
Alkalinite	APHA, 2005

4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDIRME

Yemekhane ve hayvan atıklarının birlikte arıtılması iki kademeli aşırı termofilik+ mezofilik (BH70+BHM35) ve tek kademeli aşırı termofilik (BM70) şartlar altında anaerobik arıtımı 2 ayrı sistemde incelenmiştir. Hayvan ve yemekhane atıkları UKM bazında 1:1 oranında karıştırılmıştır.

Reaktör işletimleri 3 ayrı dönemde incelenmişitir. 1. Dönem de reaktörler toplam katı madde miktarı ortalama %1,7 olarak 32 gün boyunca işletilmiştir. 2. Dönem de ise reaktörlere beslenen atık miktarı 2 katına çıkartılarak, reaktör içi KM miktarı yaklaşık %3'e yükseltilmiştir ve 80 gün süre ile işletmeye devam edilmiştir. 3. Dönemde ise besleme miktarı tekrar 2 katına çıkartılarak reaktör içi KM % 6'ya çıkarılmıştır. Alınan numunelere yapılan analizler ile sistemlerin performansı ortaya konmaya çalışılmıştır.

Bunun yanında Kesikli deneyler ile farklı substrat ve aşı oranları ile hız ve potansiyel çalışmaları yapılarak en uygun işletme koşulları belirlenmeye çalışılmıştır.

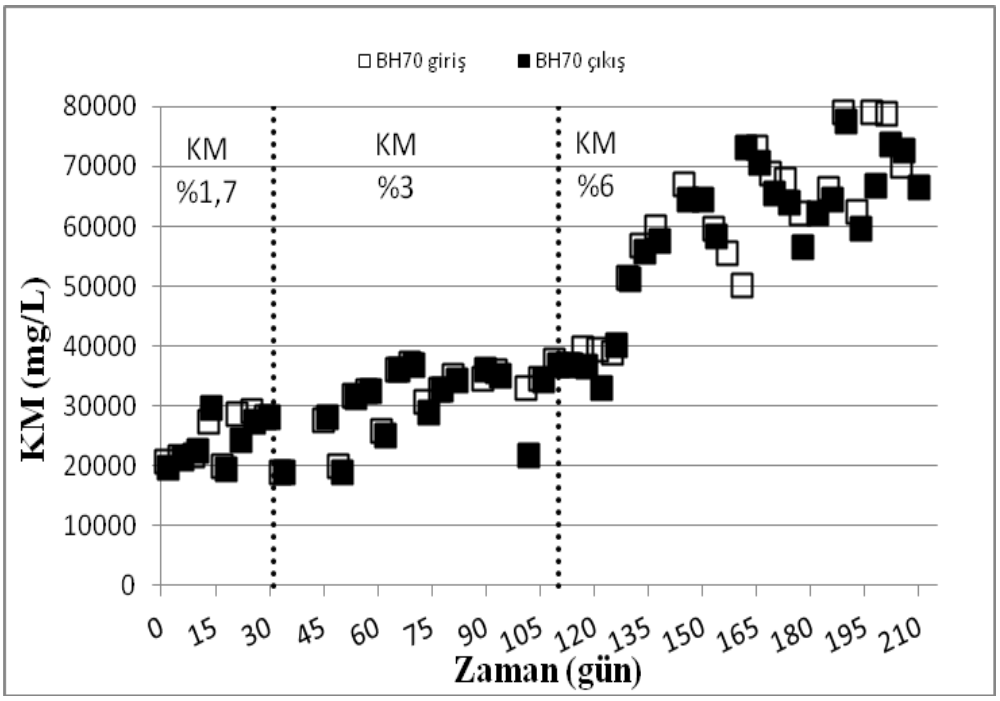
4.1 İki Kademeli Işletilen Aşırı Termofilik Biyohidrojen + Mezofilik Biyometan Sisteminin İncelenmesi

Yapılan çalışmada belli tarihler arasında reaktör içi katı madde miktarları 2 katına çıkartılarak reaktörler işletilmeye devam edilmiştir. Bu çalışma 3 farklı dönemde yapılarak, reaktörlerden numuneler alınmıştır.

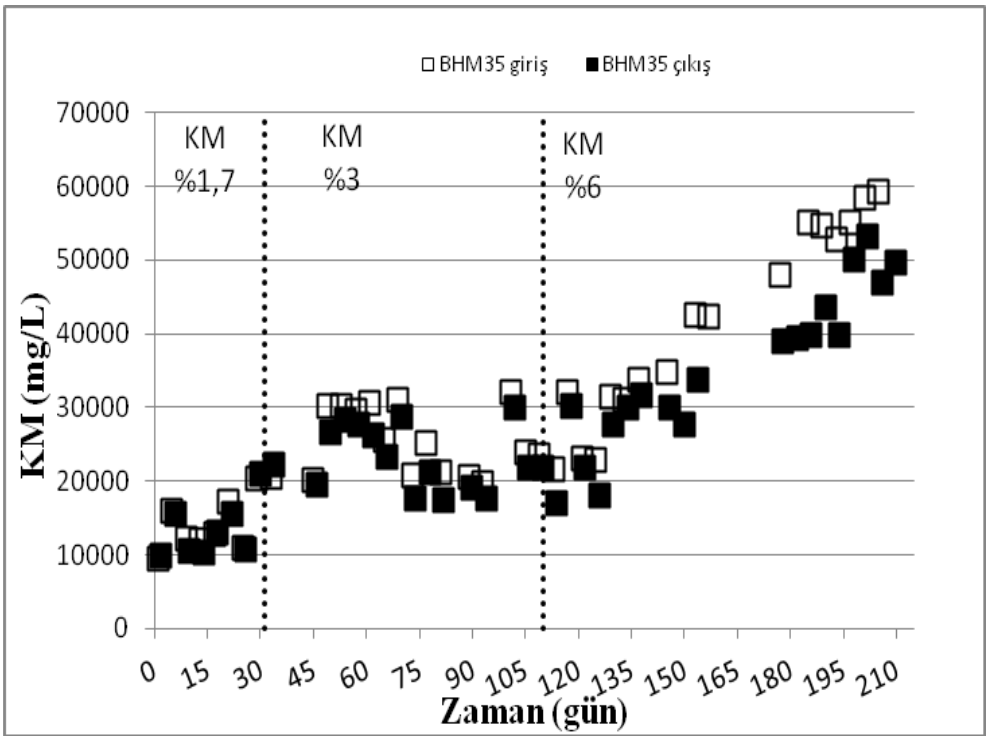
Alınan numunelere çeşitli analizler yapılarak, bu dönemlerdeki sistemin performansı ortaya konmuştur. Bu dönemlere ait numunelere yapılan analizler sonucunda elde edilen grafikler aşağıda verilmektedir.

İlk olarak reaktörlerdeki KM ve UKM'nin zamana bağlı olarak nasıl değiştiği verilmiştir.

Bu amaçla BH70 ve BHM35 reaktörlerindeki KM ve UKM'nin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de verilmektedir.

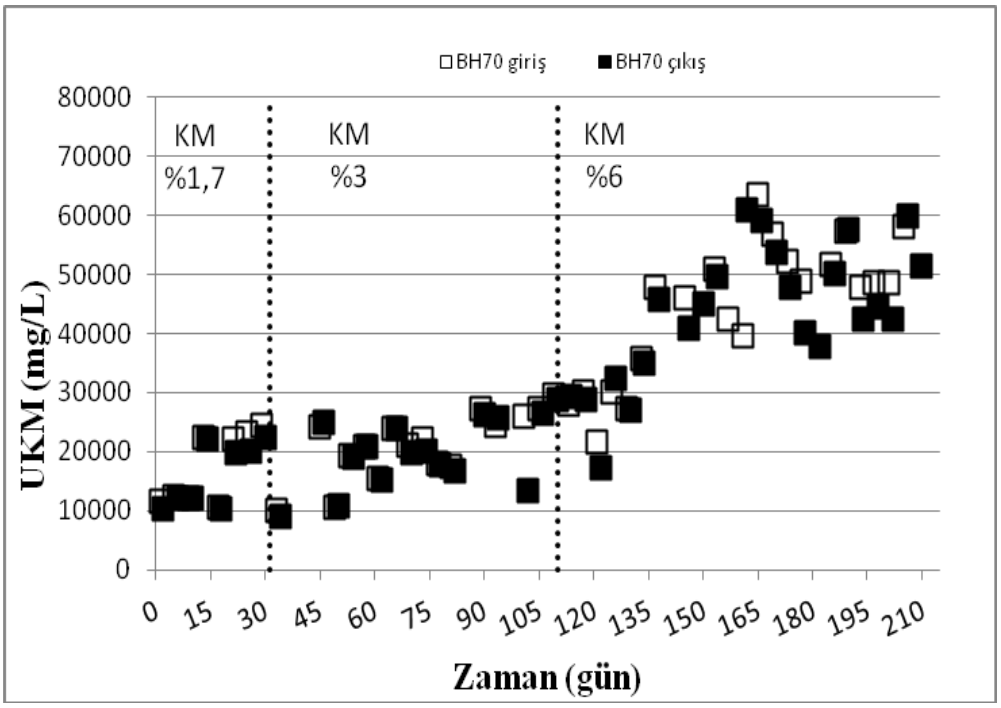


Şekil 4.1: BH70 reaktöründeki KM'nin zamana bağlı olarak değişimi.

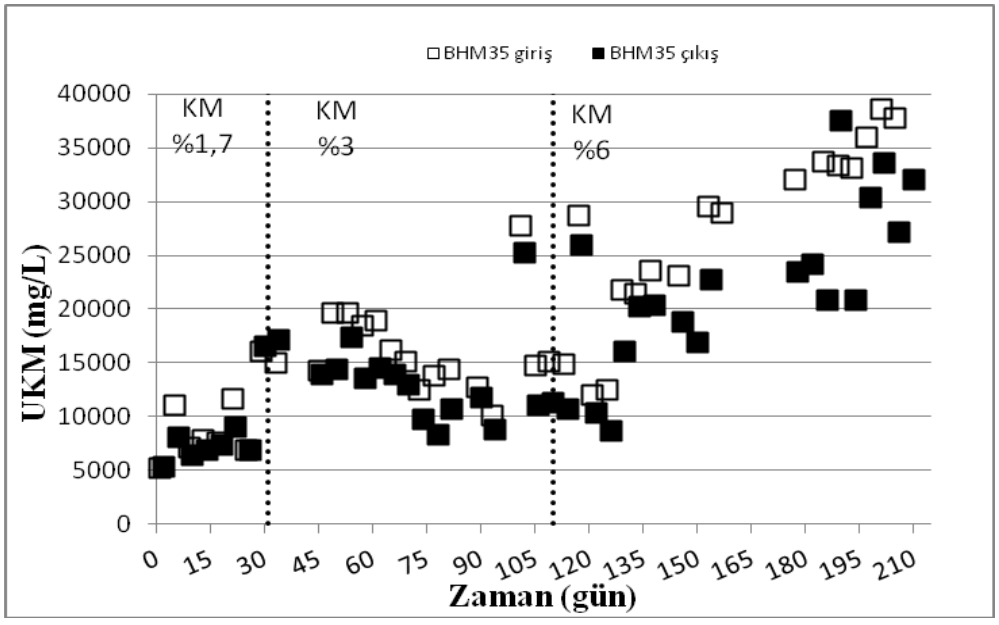


Şekil 4.2: BHM35 reaktöründeki KM'nin zamana bağlı olarak değişimi.

BH70 ve BHM35 reaktörleri KM miktarları bakımından kıyaslandığında, özellikle son dönemde BH70 reaktöründeki KM miktarının BH35 reaktörüne oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin sistem performansı ile ilgili olduğu düşünülebilmektedir.



Şekil 4.3: BH70 reaktöründe UKM'nin zamana bağlı olarak değişimi.



Şekil 4.4: BHM35 reaktöründeki UKM'nin zamana bağlı olarak değişimi.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.3'yi incelediğimizde BH70 reaktöründeki UKM değerleri reaktörün devreye alma aşamasından sonra yükseliş gösterdiği ve yaklaşık 32.günün sonuna kadar bu şekilde devam ettiği görülmektedir. Bu tarihten sonra ise yaklaşık 20 günlük zaman dilimi içerisinde çıkış değerinin, giriş değerinden daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum kullanılan havyan atığının değiştirilmesine bağlanabilir. 90.günden sonra, UKM çıkış değerinde tekrar artma görülmüştür.

Şekillerdeki 32 ve 110'uncu günlerde katı madde miktarlarındaki artış sonucunda karışımın uçucu katı madde oranının artmasıyla BH70 çıkış UKM değerinin de bir miktar arttığı görülmektedir.

Yaklaşık 135. Günden sonra hem KM hem UKM değerlerinde artış olduğu gözlenmektedir.

Bu günden sonra arıtma verimi düştüğünden dolayı KM ve UKM değerlerinde artış gözlenmiştir.

Çizelge 4.1 : Literatürde Görülen Organik Madde Giderim Değerleri (FosterCarneiro ve diğ., 2008).

Çürütücü	Organik Madde Uzaklaştırma (%)				
	Toplam Katı Madde	Uçucu Madde	Toplam Askıda Katı Madde	Toplam Uçucu Katı Madde	KOİ
Yemek Atıkları	16,4	32,4	46,2	47,0	50,2
Evsel Katı Atığın Organik Fraksiyonu (Parçalanmış)	61,7	73,7	72,1	71,8	69,2
Evsel Katı Atığın Organik Fraksiyonu	80,6	79,4	33,3	30,7	72,2
Hayvan atıkları (Çoskun ve diğ. 2011)	38	41			

ForsterCarneiro ve diğ. (2008) Yemek atıklarının termofilik anaerobik koşullarda tek kademeli arıtımı sonucunda elde edilen uçucu madde giderimi %32,4, parçalanmış evsel katı aktıkların anaerobik fraksiyonunun anaerobik arıtımı sonucu elde edilen UKM giderimi %73,4, evsel katı aktıkların anaerobik fraksiyonunun anaerobik arıtımı sonucu elde edilen UKM giderimi ise %79,4'tür.

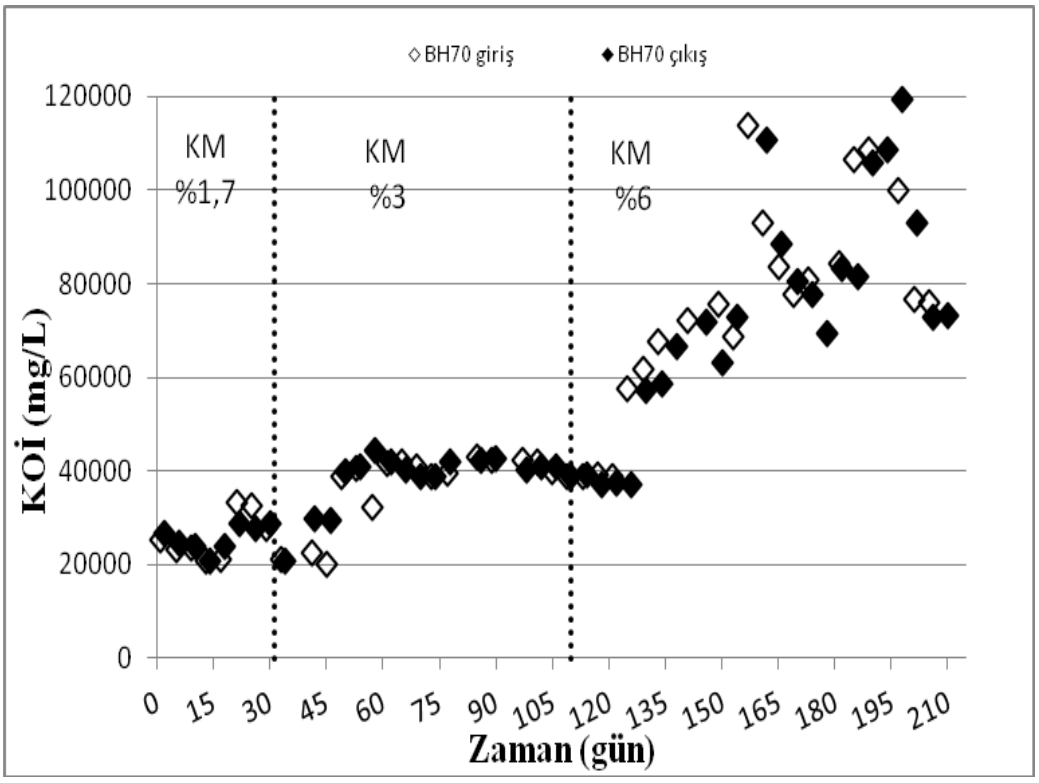
Atığın biyolojik parçalanabilirliği yüksek olan evsel katı atıklardan oluşması UKM gideriminin yüksek olmasını sağlamıştır.

Yapılan deneysel çalışmada sisteme beslenen atık karışımı içerisindeki aktif çamur evsel katı atığın organik fraksiyonuna nazaran daha zor biyolojik parçalanabilir

olduğu halde %67 UKM giderimi ile iyi bir UKM giderimi gözlediğimizi söyleyebiliriz.

Çoskun ve diğ. (2011) yaptıkları çalışmada hayvan atıklarının mezofilik ve termofilik koşullar altında çift kademeli arıtımı sonucunda KM giderimi %38, UKM giderimi ise %41 olarak bulunmuştur.

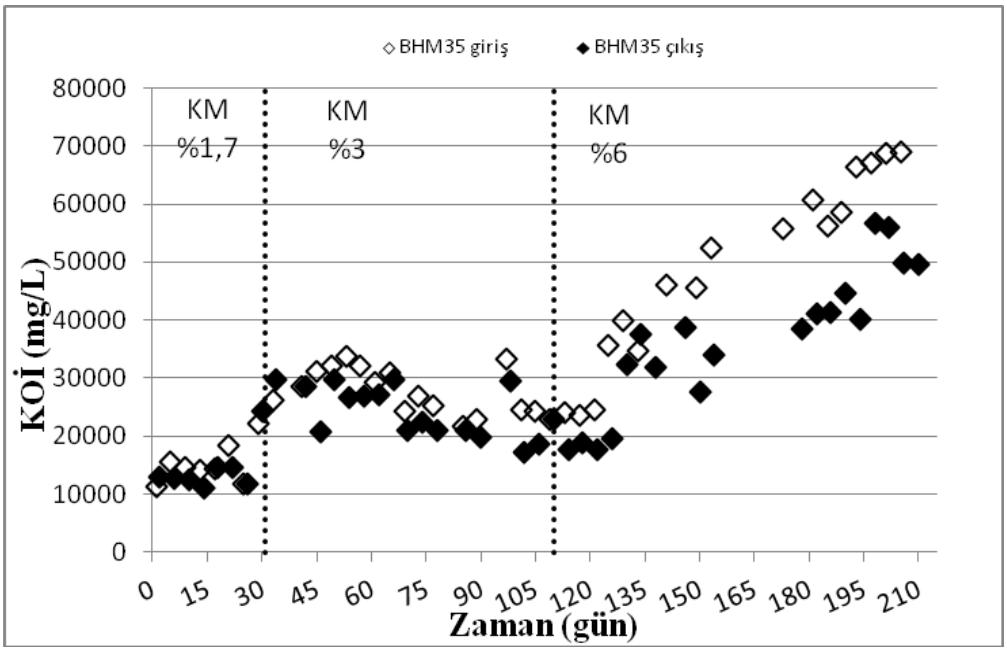
BH70 ve BHM35 reaktörlerindeki KOİ'nin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.5, 4.6'de verilmektedir.



Şekil 4.5: BH70 reaktöründeki KOİ'nin zamana bağlı olarak değişimi.

BH70 reaktör girişinde ortalama KOİ %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 25049, 39865 ve 86114 mg/L, çıkışında ise sırasıyla 25663, 39660 ve 81128 mg/L değerindedir.

Standart sapmaların giriş değerleri sırasıyla 4585, 6704 ve 19868 mg/L'dir. Bu değerler reaktör çıkışında sırasıyla 3269, 3223 ve 17416 mg/L'dir. BHM35 reaktörüne kıyasla, BH70 reaktöründe her 3 dönem içinde KOİ değerinin yüksek seviyelerde devam ettiği söylenebilmektedir. Özellikle 3. Dönemde KOİ değerindeki artış sistem performansı ile ilişkilendirilebilmektedir. Bu dönemde KOİ değerleri zaman zaman önemli derece sayılabilecek olan artışlar göstermiştir.



Şekil 4.6: BHM35 reaktöründeki KOİ'nin zamana bağlı olarak değişimi.

BHM35 reaktör girişinde ortalama KOİ %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 17736, 27535 ve 55671 mg/L, çıkışında ise sırasıyla 17261, 22512 ve 43192 mg/L değerindedir.

Standart sapmaların giriş değerleri sırasıyla 5968, 4459 ve 10621 mg/L'dir. Bu değerler reaktör çıkışında sırasıyla 7244, 4455 ve 9767 mg/L'dir.

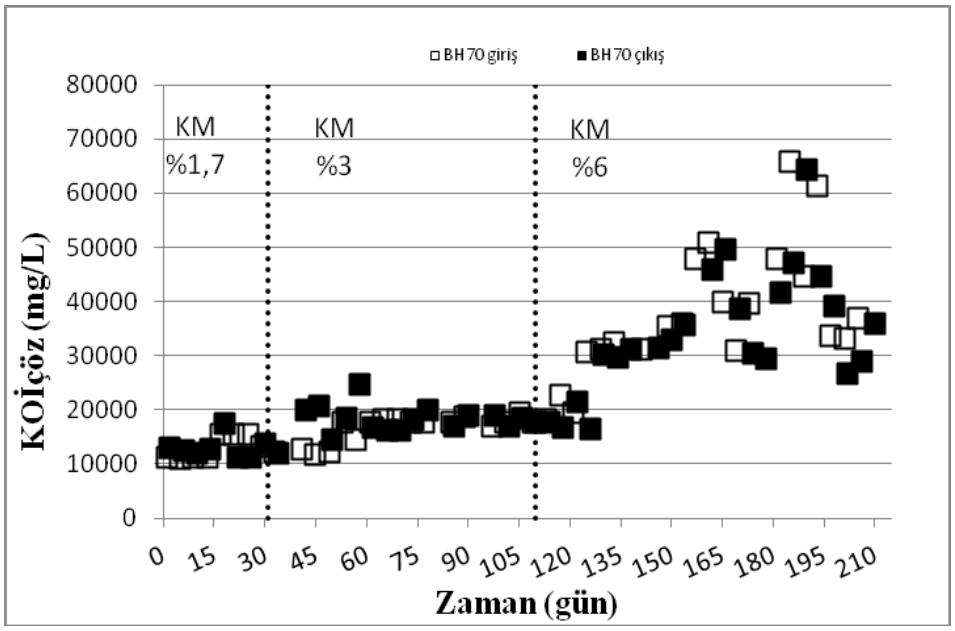
BHM35 ve BM70 reaktöründeki KOİ giderimleri BH70 reaktörüne kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. BH70 reaktöründeki giriş ve çıkış değerlerinin yakın ve dengede seyrettiği görülmektedir.

BHM35 reaktöründe işletime başlanan ilk günlerde çıkış değerlerinin yüksek olduğu gözlenmektedir. Sonraki zamanlarda ise giriş-çıkış değerlerinde dengelenme gözlenmektedir.

BHM35 reaktöründe ise reaktöründe 1.Dönemde 1057 mL CH_4/gün, 2.Dönemde 2012 mL CH_4/gün ve 3. Dönemde 4174 mL CH_4/gün olarak hesaplanmıştır.

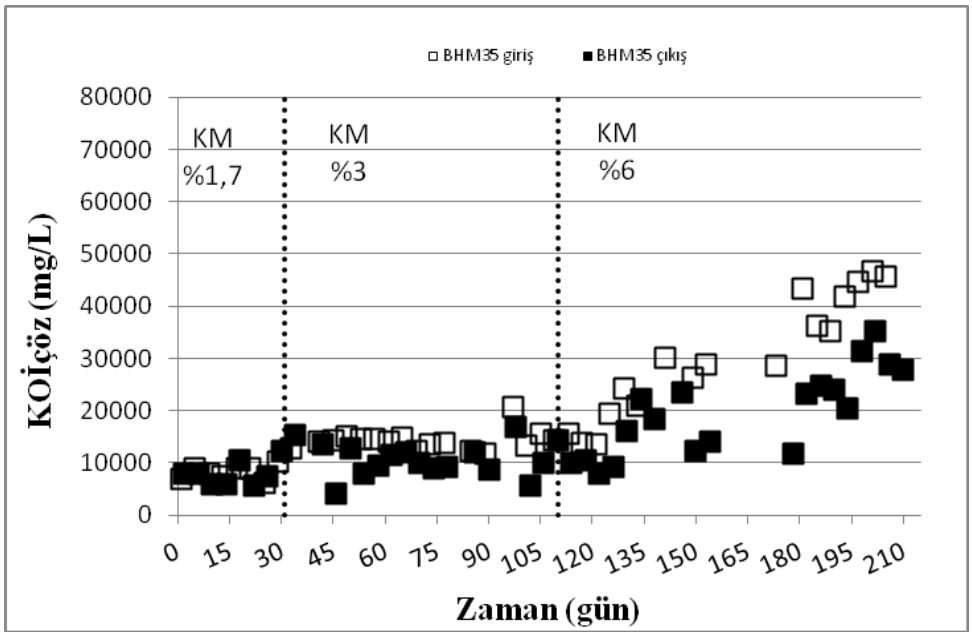
KOİ giderimi yüzde olarak BHM35 reaktöründe 1.Dönem %8, 2. Dönem %17, 3.Dönem %20 olarak hesaplanmıştır.

BH70 ve BHM35 reaktörlerindeki $KOİ_{ÇÖZ}$'nin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.7, 4.8'de verilmektedir.



Şekil 4.7: BH70 reaktöründeki KOİçöz'nin zamana bağlı olarak değişimi.

BH70 reaktör girişinde ortalama KOİçöz %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 12932, 18156 ve 39437 mg/L, çıkışında ise sırasıyla 13564, 18266 ve 40011 mg/L değerindedir. Standart sapmaların giriş değerleri sırasıyla 1881, 3891 ve 11159 mg/L'dir. Bu değerler reaktör çıkışında sırasıyla 2868, 2369 ve 11167 mg/L'dir.



Şekil 4.8: BHM35 reaktöründeki KOİçöz'nin zamana bağlı olarak değişimi.

BHM35 reaktör girişinde ortalama KOİçöz %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 9237, 14598 ve 33603 mg/L, çıkışında ise sırasıyla 9184, 9832 ve 22683

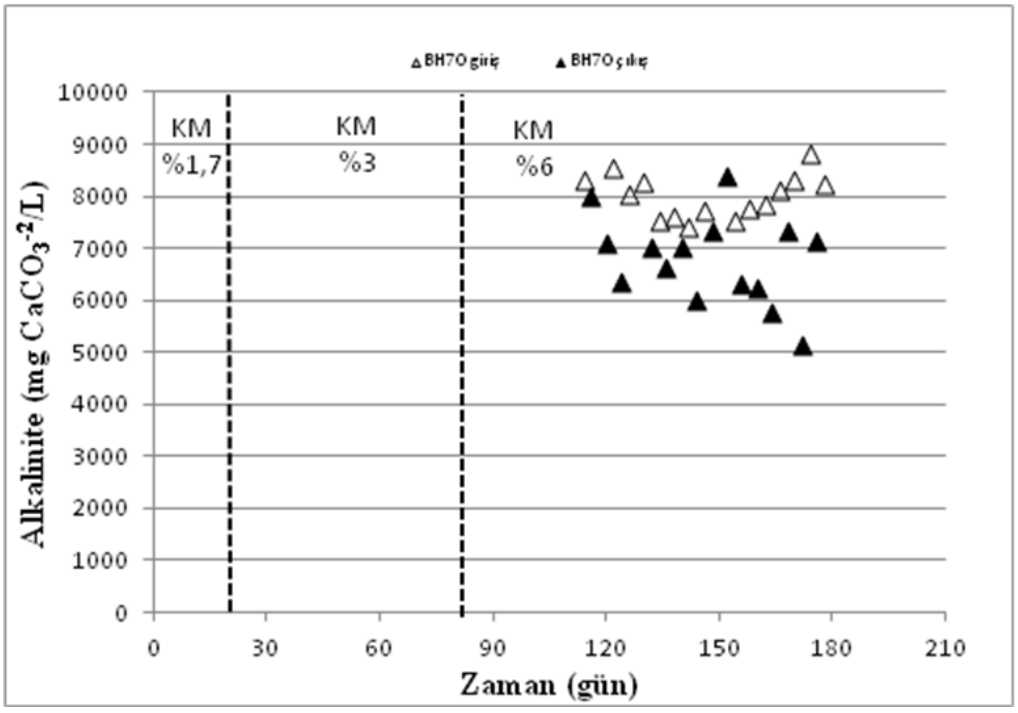
mg/L değerindedir. Standart sapmaların giriş değerleri sırasıyla 2507, 2204 ve 9043 mg/L'dir. Bu değerler reaktör çıkışında sırasıyla 3507, 2746 ve 6865 mg/L'dir.

BH70 reaktöründeki pH ayarlamasında yaşanan problemlerden dolayı 43 ve 90. günler arasında $KOİ_{çöz}$ değerlerinde dengesizlikler yaşanmıştır. pH'nın azalması ile $KOİ_{çöz}$ değeri çıkış numunelerinde, giriş numunelerinden daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Ancak 90. günden sonra pH'daki problem çözülmüş ve çıkış numunelerindeki değer istenen seviyelere çekilmiştir.

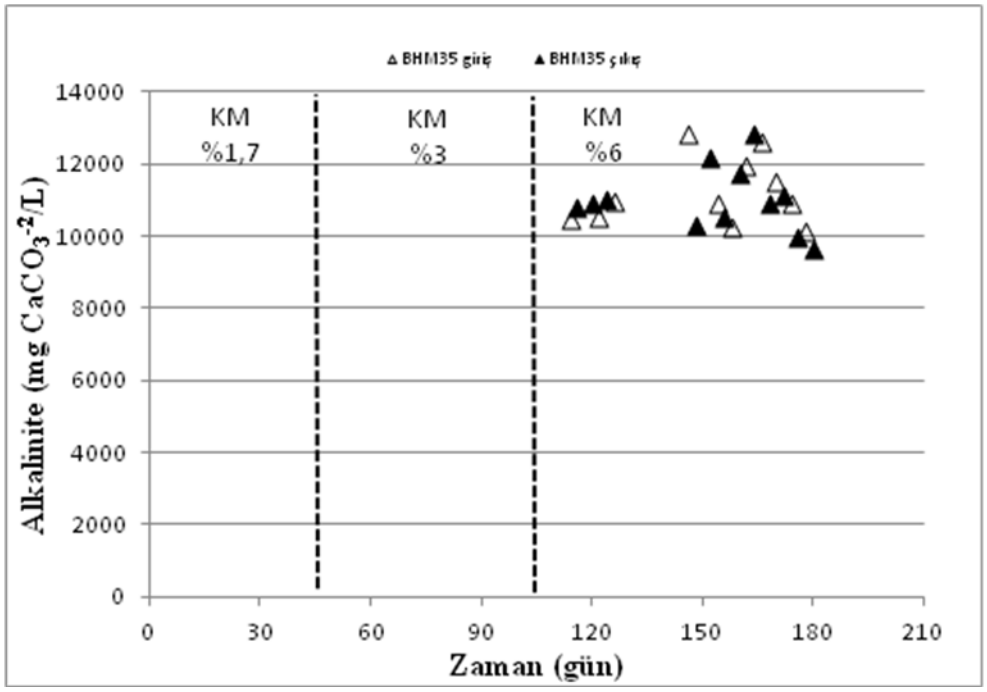
BHM35 reaktöründe ise pH ayarlamasında hiçbir problem ile karşılaşılmadığından $KOİ_{çöz}$ değeri istenen seviyelerde çıkmıştır. $KOİ_{çöz}$ giderimi yüzde olarak BH70 reaktöründe 1.Dönem %9, 2. Dönem %22, 3.Dönem %11 olarak hesaplanmıştır. KOİ giderimi yüzde olarak BHM35 reaktöründe 1.Dönem %10, 2. Dönem %31, 3.Dönem %31 olarak hesaplanmıştır.

Alkalinite analizleri için reaktörlerden belli dönemde numune alınmıştır. Bu dönem reaktördeki katı madde miktarının %6 olduğu zaman dilimine denk gelmektedir. Reaktörlerde yaklaşık olarak 70 günlük zaman aralığında alkalinite parametresi ölçülmüştür. Alınan numunelere yapılan analiz sonuçları aşağıda verilmektedir.



Şekil 4.9: BH70 reaktöründeki alkalinitenin zamana bağlı olarak değişimi.

BH70 reaktöründe ortalama Alkalinite %6'lık besleme için 7384 mg $CaCO_3^{-2}$/L değerindedir. Standart sapmaların değeri ise 889 mg $CaCO_3^{-2}$/L olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.10: BHM35 reaktöründeki alkalinitenin zamana bağlı olarak değişimi.

BHM35 reaktöründe ortalama Alkalinite %6'lık besleme için 11094 mg $CaCO_3^{-2}$/L değerindedir.

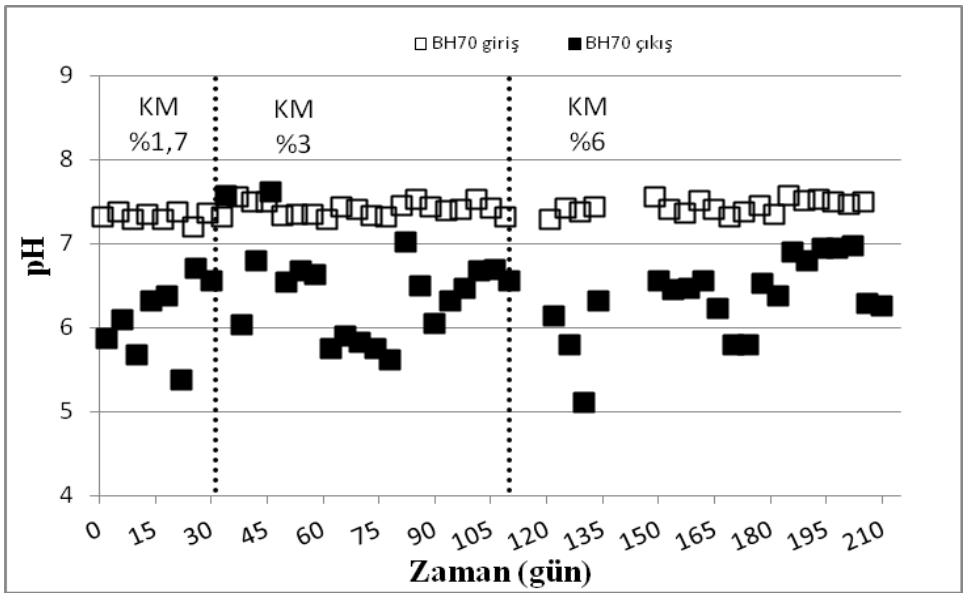
Standart sapmaların değeri ise 904 mg $CaCO_3^{-2}$/L olarak hesaplanmıştır. Biyolojik sistemlerde alkalinite, ayrışma için gerekli pH değerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitlerin tamponlanma kapasitesini göstermektedir.

Bu durumda pH ayarlaması yapılmasına gerek duyulmayacaktır. Asitlerin tamponlama kapasitesi özelliklerinden faydalanarak, pH istenen seviyelere çekilebilmektedir. Böylece sistem performansı istenen seviyelere ulaşabilmektedir.

Yemek atığı içerisinde yer alan kolay biyolojik olarak bozunan organik maddelerin ayrışmasından sonra açığa çıkan amonyum gibi tamponlama kapasitesi yüksek iyonların çözünmesi ile alkalinite miktarı artmaktadır.

Buna karşılık hayvan atğı içeriğinde bulunan maddeler zor ayrışan maddeler olup, tamponlama kapasitesini düşürmektedir.

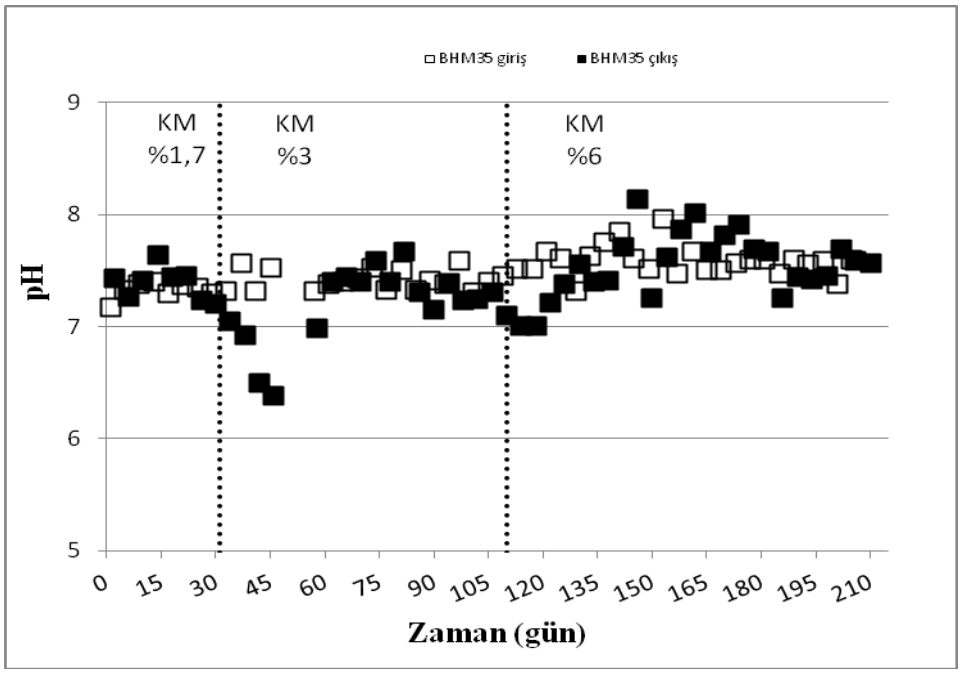
BH70 ve BHM35 reaktörlerindeki gaz ve pH'ın zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.11, 4.12, 4.13, 4.14'de verilmektedir.



Şekil 4.11: BH70 reaktöründeki pH'ın zamana bağlı olarak değişimi.

BH70 reaktör girişinde ortalama pH %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 7.4, 7.4 ve 7.4, çıkışında ise sırasıyla 6.5, 6.3 ve 6.4 değerindedir.

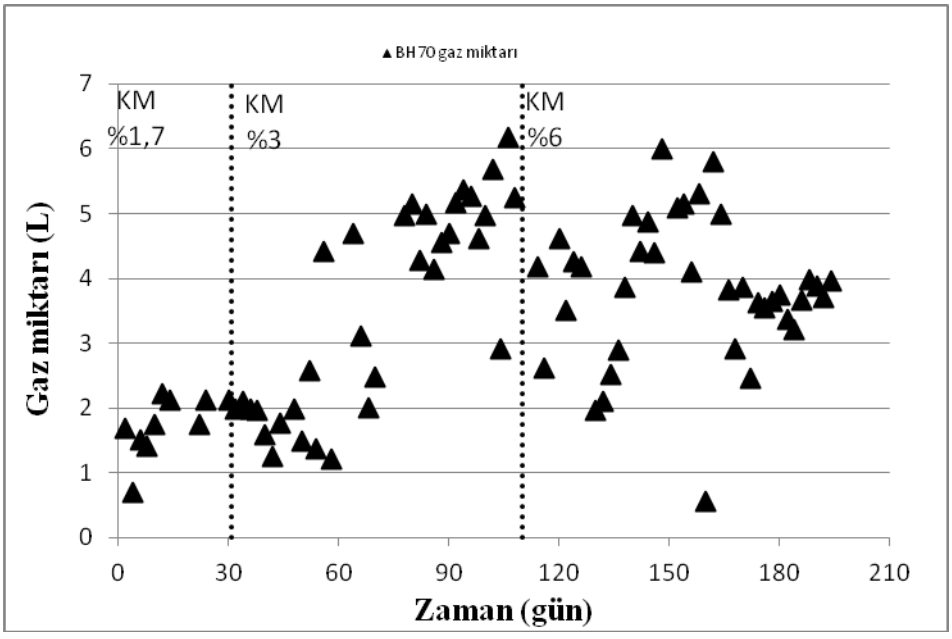
Standart sapmaların giriş değerleri sırasıyla 0.1, 0.1 ve 0.1 dir. Bu değerler reaktör çıkışında sırasıyla 0.6, 0.5 ve 0.2 dir.



Şekil 4.12: BHM35 reaktöründeki pH'ın zamana bağlı olarak değişimi.

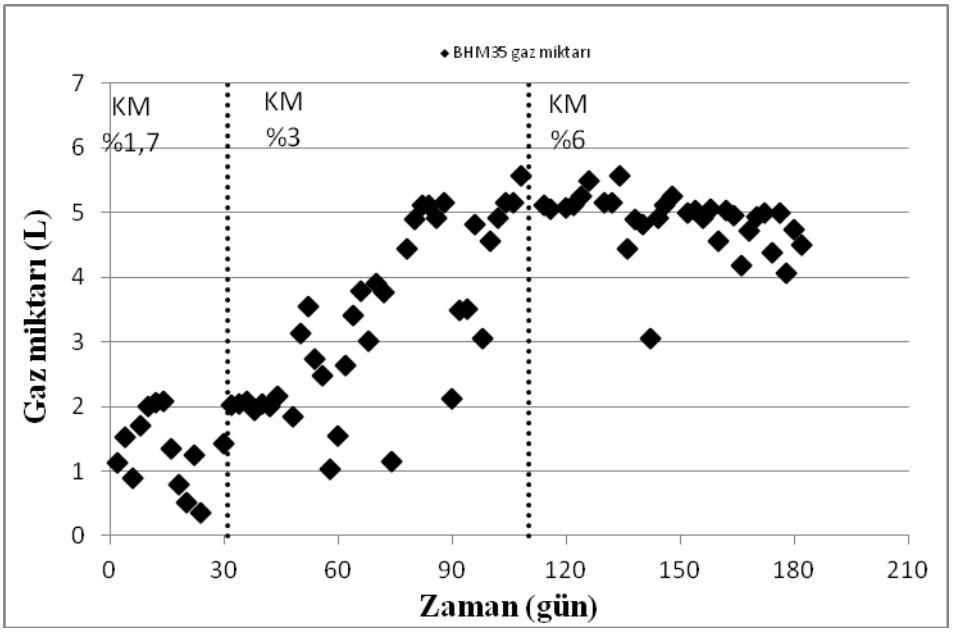
BHM35 reaktör girişinde ortalama pH %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 7.4, 7.5 ve 7.4, çıkışında ise sırasıyla 7.1, 7.5 ve 7.4 değerindedir. Standart sapmaların giriş değerleri sırasıyla 0.1, 0.1 ve 0.1 dir. Bu değerler reaktör çıkışında sırasıyla 0.4, 0.3 ve 0.1 dir.

Reaktör çıkış numuneleri, besleme sonrasında alınan numuneler olup, reaktör giriş numuneleri ise besleme öncesi alınan numunelerdir. Reaktörlerdeki pH ayarı el ile asit-baz ekleyerek yapılmıştır. Her besleme öncesinde ve sonrasında ölçülüp istenilen seviyeye çekilmiştir. pH ayarlaması yapılır iken anaerobik ayrışmanın yüksek verimde gerçekleşmesi için, ayrışmayı gerçekleştiren bakterilerin yüksek verimde çalışabilceği pH seviyesi şeçilmiştir. Bu seçim yapılırken önceki çalışmalar göz önüne alınmıştır. Bu nedenle pH seviyesinin 7-7,6 arasında kalması istenmiştir. Çıkış değerinin yüksek olduğu günlerde, giriş pH seviyesinide yukarılara çekerek, bakterilerin bu pH seviyesinde nasıl çalıştığı anlaşılmaya çalışılmıştır. En yüksek pH değerinin BHM35 reaktöründe olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni bu reaktörün diğer reaktörlere kıyasla daha iyi çalışması, daha fazla gaz vermesi vermesine bağlanabilmektedir. BH70 reaktöründe ise pH seviyesinin daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni, üretilen hidrojenin artması ile reaktör içi organik asit seviyesinin artmasıdır. Asit miktarının artması ile reaktördeki pH seviyesinde düşme gözlenmiştir.



Şekil 4.13: BH70 reaktöründeki üretilen gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi.

BH70 reaktör ortalama gaz üretimi 3,29 L/gün değerindedir. Standart sapma değeri ise 1,59 L/gün' dür.



Şekil 4.14: BHM35 reaktöründeki üretilen gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi.

BHM35 reaktör ortalama gaz üretimi 3,56 L/gün değerindedir. Standart sapma değeri ise 1,78 L/gün' dür.

Reaktörlerde üretilen gaz miktarları dikkate alındığında BM70 reaktörünün gaz üretim veriminin daha az olduğu gözlenmektedir. Bu reaktörden 40.güne kadar istenilen verim alınamamıştır. Bunun nedeni olarak kullanılan aşının yetersiz olduğu düşünülmektedir. 40.günden sonra başka bir Biyometan aşısı eklenmiş ve sistem performansında artış gözlenmiştir.

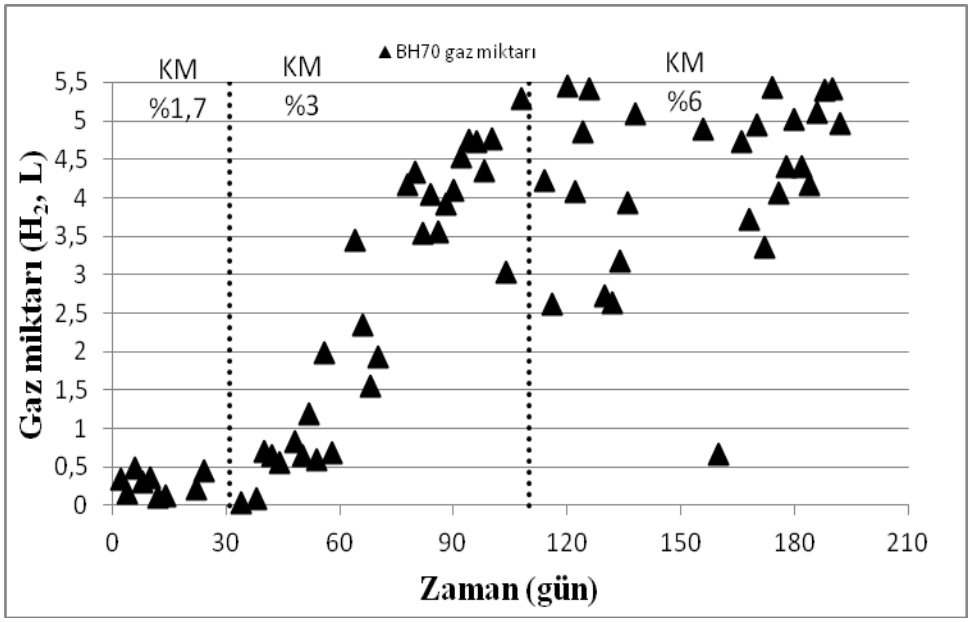
Gaz miktarındaki artışın diğer nedeni ise reaktöre beslenen atık miktarının arttırılması ile birlikte üretilen gaz miktarının artmasıdır. BHM35 reaktörü ise gaz eğrisine baktığımızda genel olarak düzenli olarak bir artış olduğu söylenebilmektedir. 120. güne gelindiğinde reaktör beslemesinde düzensizlikler yaşandığından, reaktörde üretilen gaz miktarının azaldığı gözlenmiştir.

15-20 günlük zaman dilimi içerisinde bu durum düzeltilmiş reaktör beslemeleri eski düzenine koyulduktan sonra üretilen gaz miktarı eski haline gelmiş ve düzene girmiştir. BH70 reaktörü gaz eğrisine bakıldığında 80. güne kadar, reaktörde gaz üretimi gözlenmiştir.

75-80 günler arasında bu reaktöre yeast extract maddesi konulmuş ve gaz miktarındaki değişme gözlenmiştir. Eklenen bu madde olumlu sonuç vermiş ve gaz üretim miktarında önemli derecede artış gözlenmiştir. Bu madde yaklaşık 5 beslemede atıklar ile birlikte reaktöre aktarılmıştır. Bu zaman dilimi yaklaşık 10-15 güne denk gelmektedir.

Reaktörler gaz ve pH değerlerine göre incelendikten sonra, BM70 ve BHM35 reaktörlerinde üretilen gazın metan olarak miktarı, BH70 reaktöründe üretilen gazın ise hidrojen olarak üretilen gaz miktarları hesaplanmıştır. Bu hesap yapılırken günlük ortalama üretilen metan ve hidrojen gazı hesapları yapılırken GC'den okunan metan ve hidrojen yüzdeleri kullanılmıştır. Hesaplanan metan ve hidrojen gazı değerleri kullanılarak, üretilen gazın metan içeriği ve üretilen gaz arasında bir kıyaslama yapılabilmektedir. Hesaplanan gaz içerik değerlerine bakıldığında, sistem performansı gözlenebilmektedir.Gaz içeriğindeki değişikliğin en yüksek olduğu noktanın 3. Döneme denk geldiği gözlenmekte olup, gerek metan gerek hidrojen içeriğinin en yüksek olduğu zaman dilimi olduğu saptanmıştır.

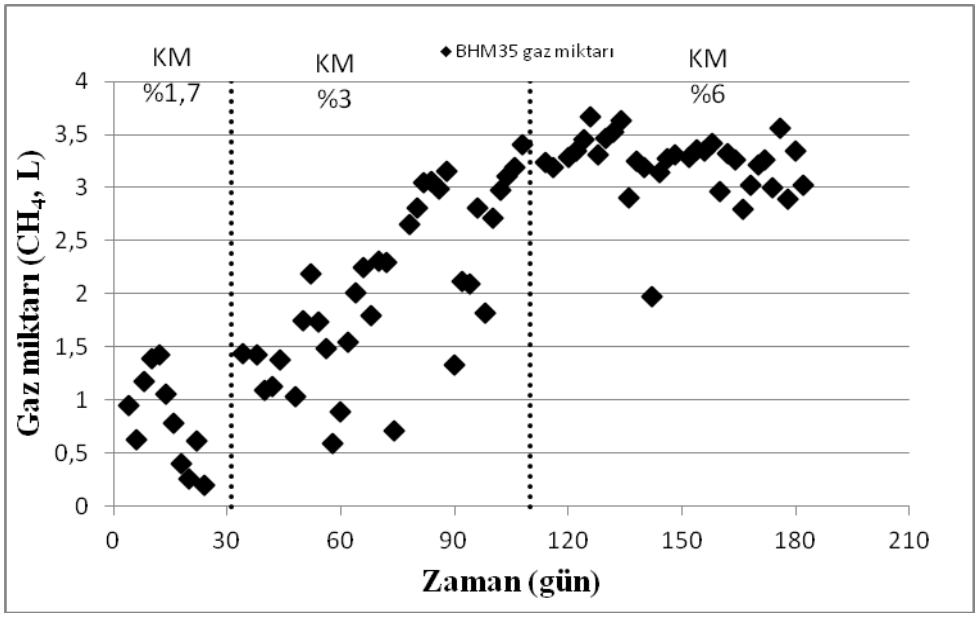
Reaktörlerde üretilen toplam gaz üretim miktarları bu yüzdeler ile çarpılarak sırasıyla Hidrojen ve Metan içerikleri Şekil 4.15, 4.16 verilmektedir.



Şekil 4.15: BH70 reaktöründeki üretilen hidrojen gazı miktarının zamana bağlı olarak değişimi.

BH70 reaktör ortalama günlük gaz üretimi %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 246, 928 ve 1766 mL/$H_{2.}$gün değerindedir.

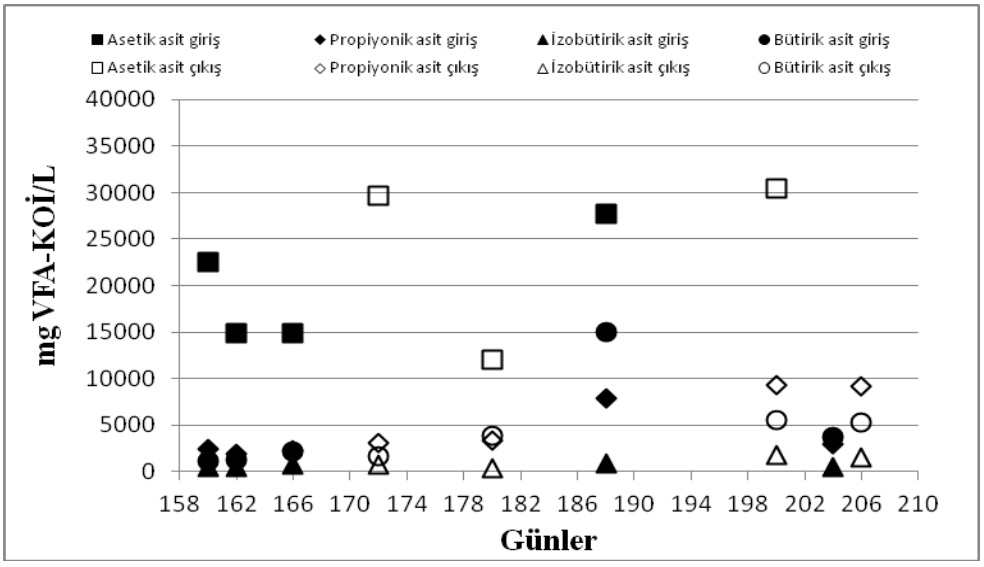
Standart sapma değerleri sırasıyla 167, 762 ve 612 mL/$H_{2.}$gün' dür.



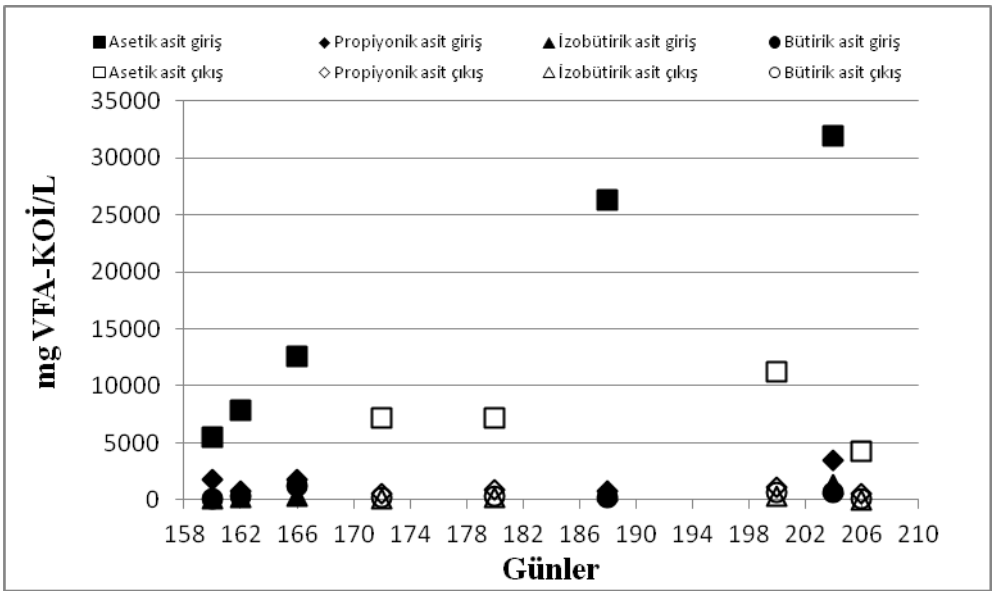
Şekil 4.16: BHM35 reaktöründeki üretilen metan gazı miktarının zamana bağlı olarak değişimi.

BHM35 reaktör ortalama günlük gaz üretimi %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 783, 1678 ve 2397 mL/$CH_{4.}$gün değerindedir.

Standart sapma değerleri sırasıyla 493, 963 ve 1362 mL/$CH_{4.}$gün' dür. Reaktörlerde 08/06/2011-26/07/2011 tarihleri arasında alınan numuneler alınmıştır. Alınan bu numunelere UYA analizleri yapılmştır. Yaklaşık olarak 160.-206. günler arasında alınan numunelerde UYA parametrelerine bakılmıştır. Analiz sonuçlar kullanılarak Şekil 4.19, 4.20 elde edilmiştir.



Şekil 4.17: BH70 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı olarak değişimi.



Şekil 4.18: BHM35 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı olarak değişimi.

Teorik olarak 1 mol glikoz 12 mol H_2 üretme potansiyeline sahip iken mevcut fermentasyon teknolojileri ile ancak 2-3 mol H_2 üretilebilmektedir. Bunun nedeni organik maddenin asetat veya asetona kadar ayrışmaması ve hidrojenin uçucu yağ asitleri ve alkollere gibi organik maddelere indirgenmesi için kullanılmasıdır. Bu nedenle asetatın fermantasyon son ürünü olarak üretilmesi halinde H_2 üretim oranı daha yüksektir. Farklı fermentasyon son ürünü oluşumu tamamen bakteri türüne bağlı olup, çevre şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Anaerobik koşullar altında organik bileşikler asetat, bütirat, laktik asit vb. organik asitlere dönüşürken hidrojen üretimi gözlenmektedir. Aşağıdaki Denklem 4.1 ve 4.2'de son ürün olarak asetat ve bütirat üretimine göre H_2 üretim oranları yer almaktadır. Son ürün olarak asetat veya aseton üretilirse;

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 4H_2 + 2CO_2 \qquad \text{(Denklem 4.1)}$$

Eğer son ürün olarak bütirat üretilirse;

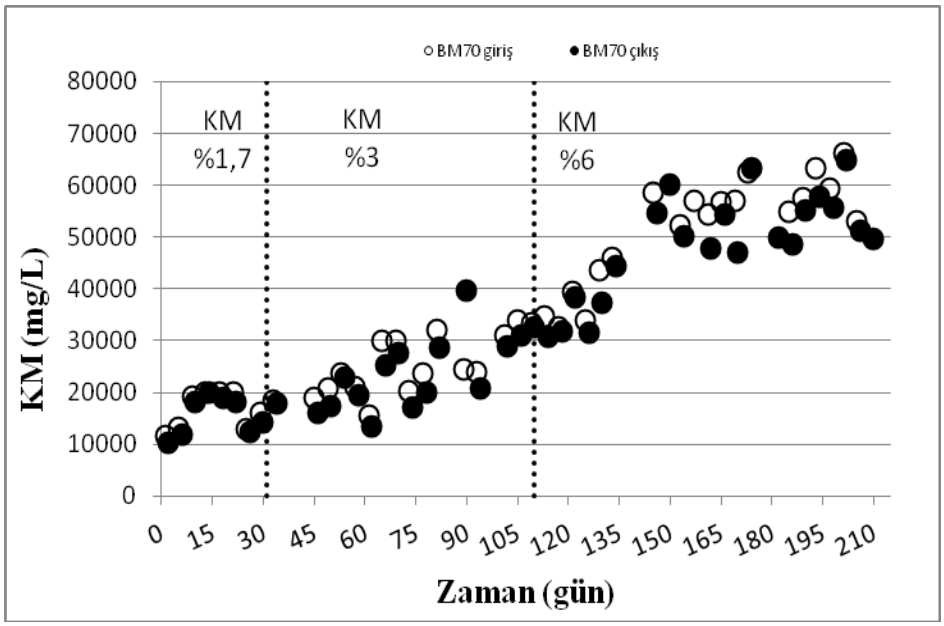
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2 + 2CO_2 \qquad \text{(Denklem 4.2)}$$

Sistemde UYA üretimi biyohidrojen üretimin göstergesidir. Fermantasyon sonucunda atıklar UYA'ya ve hidrojene dönüşmektedir. İşletme süresi boyunca sistem çıkışında Asetik asit miktarının düzenli olarak arttığı görülmektedir. Bu durum sistemde asit üretim safhasında zamanla iyileşme olduğunu ortaya koymaktadır.

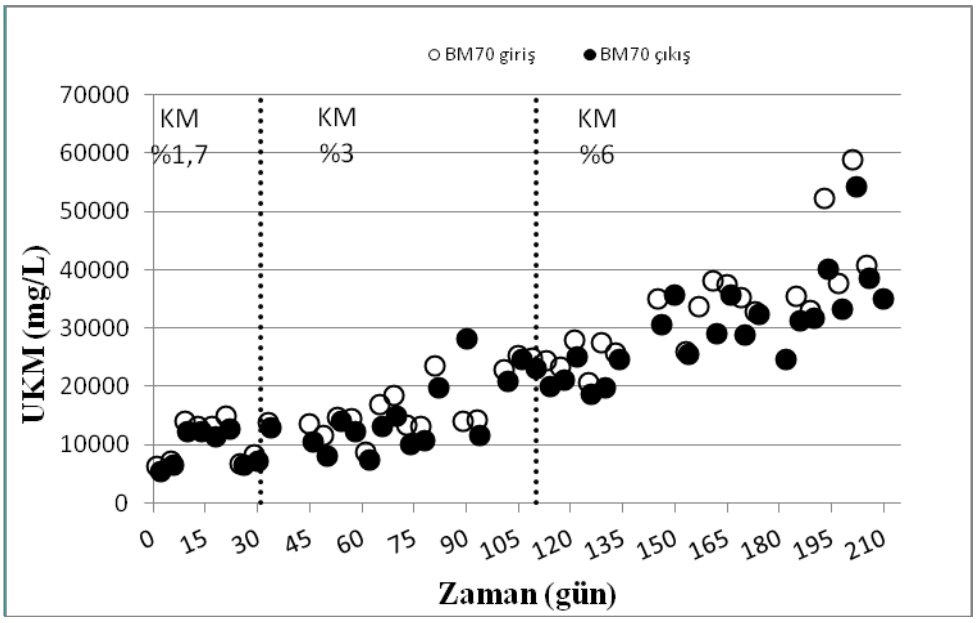
4.2 Tek Kademeli Işletilen Aşırı Termofilik Biyometan Sisteminin İncelenmesi

Yapılan çalışmada belli tarihler arasında reaktör içi katı madde miktarları 2 katına çıkartılarak reaktörler işletilmeye devam edilmiştir. Bu çalışma 3 farklı dönemde yapılarak, reaktörlerden numuneler alınmıştır. Alınan numunelere çeşitli analizler yapılarak, bu dönemlerdeki sistemin performansı ortaya konmuştur.

Bu dönemlere ait numunelere yapılan analizler sonucunda elde edilen grafikler aşağıda verilmektedir.



Şekil 4.19: BM70 reaktöründeki KM'nin zamana bağlı olarak değişimi,

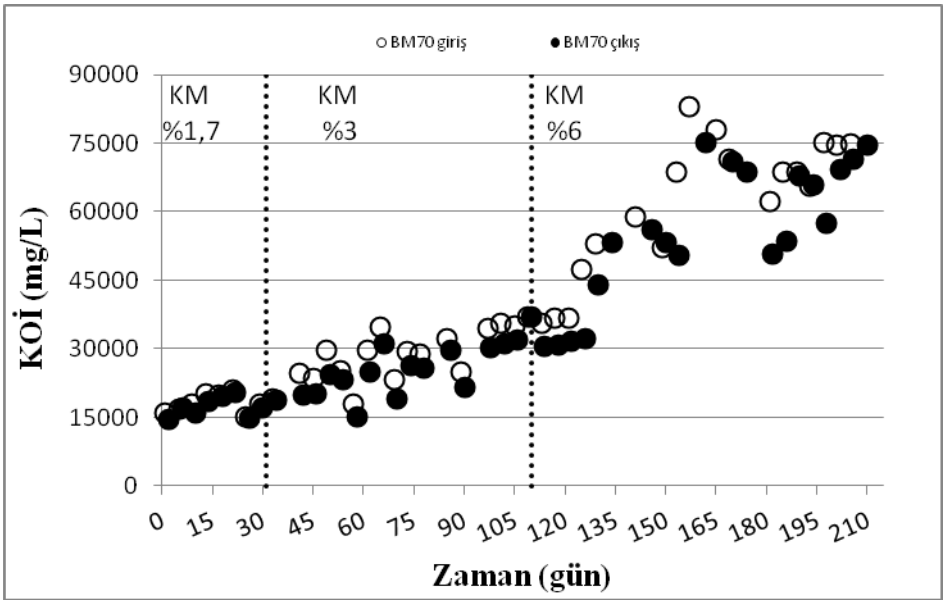


Şekil 4.20: BM70 reaktöründeki UKM'nin zamana bağlı olarak değişimi.

Reaktörlerin KM ve UKM değerleri incelendiğinde devreye alma aşamasından 0-32'inci günler arası KM ve UKM değerlerinin dengede seyrettiği ancak reaktördeki katı madde miktarındaki artış sonrasında bu değerlerin dengelenmesi için yaklaşık 25-40 gün süre gerektiği gözlenmektedir. BHM35 reaktöründe KM ve UKM beslemelere bağlı olarak azalırken, diğer reaktörlerde bu durum gözlenenemektedir. Bu durumda BHM35 reaktörünün BH70 ve BM70 reaktörlerine kıyasla daha yüksek arıtma verimi olduğu söylenebilir. Arıtma verimi ise reaktör kurulumunda kullanılan aşı, işletme koşulları gibi durumlara dayandırılabilmektedir.

Ayrıca reaktöre yapılan beslemelerde oluşan aksaklıklardan dolayı reaktörlerde arıtma verimi düşmüştür. Yine bu duruma bağlı olarak katı madde miktarında artış gözlenmiştir.

BM70 reaktöründeki KOİ'nin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.21'de verilmektedir.



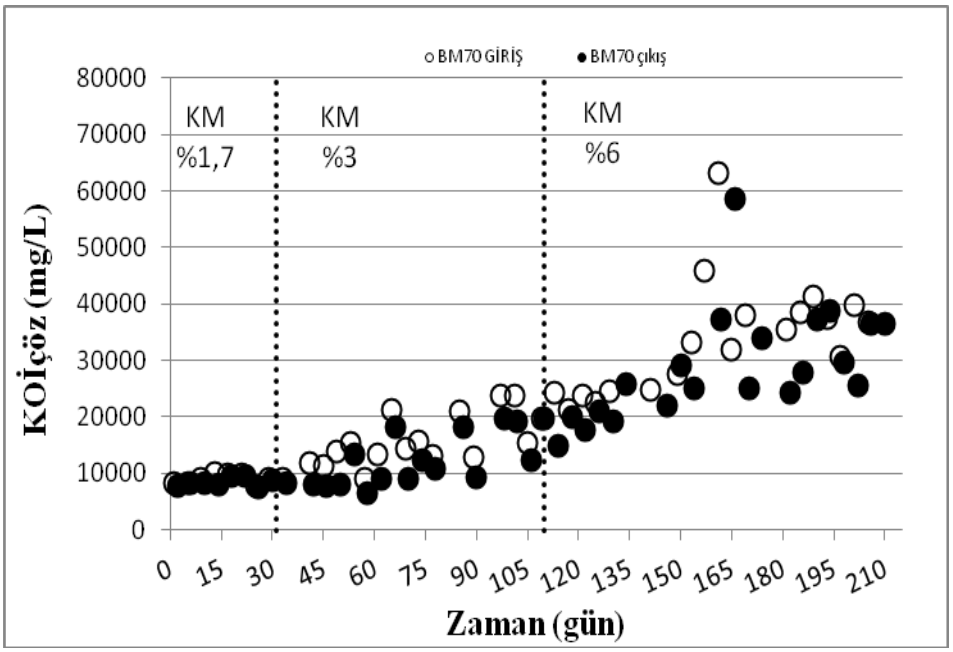
Şekil 4.21: BM70 reaktöründeki KOİ'nin zamana bağlı olarak değişimi.

BM70 reaktör girişinde ortalama KOİ %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 18803, 31469 ve 71251 mg/L, çıkışında ise sırasıyla 17659, 26640 ve 64841 mg/L değerindedir. Standart sapmaların giriş değerleri sırasıyla 2845, 6787 ve 14343 mg/L'dir. Bu değerler reaktör çıkışında sırasıyla 2065, 5191 ve 14492 mg/L'dir. BM70 reaktöründe ise diğer reaktörlerde olduğu devreye alma sürecinden sonra 32 günlük zaman dilimi içerisinde giriş-çıkış değerlerinin dengede gittiği gözlenmektedir. Sistemde KOİ değerleri oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir.

Bunun sebebi yemekhaneden alınan atıkların içeriğinden dolayı farklılık göstermesidir. Ayrıca hayvan atığının içeriği de KOİ değerlerini etkilediği söylenebilmektedir.

BM70 reaktöründeki KOİ giriş ve çıkış değerlerinin 32. güne kadar yakın ve dengede seyrettiği görülmektedir. 45. günden sonra giriş değerlerinin çıkış değerlerinden daha yüksek olduğu ve dolayısıla KOİ gideriminin arttığı gözlenmektedir. Giderilen KOİ'ye göre beklenen teorik metan üretimi BM70 reaktöründe 1.Dönemde 380 mL CH_4/gün, 2.Dönemde 1734 mL CH_4/gün ve 3. Dönemde 2334 mL CH_4/gün olarak hesaplanmıştır. KOİ giderimi yüzde olarak BM70 reaktöründe 1.Dönem %6, 2. Dönem %13, 3.Dönem %6 olarak hesaplanmıştır.

BM70 reaktöründeki $KOİ_{ÇÖZ}$'nin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.22'de verilmektedir.

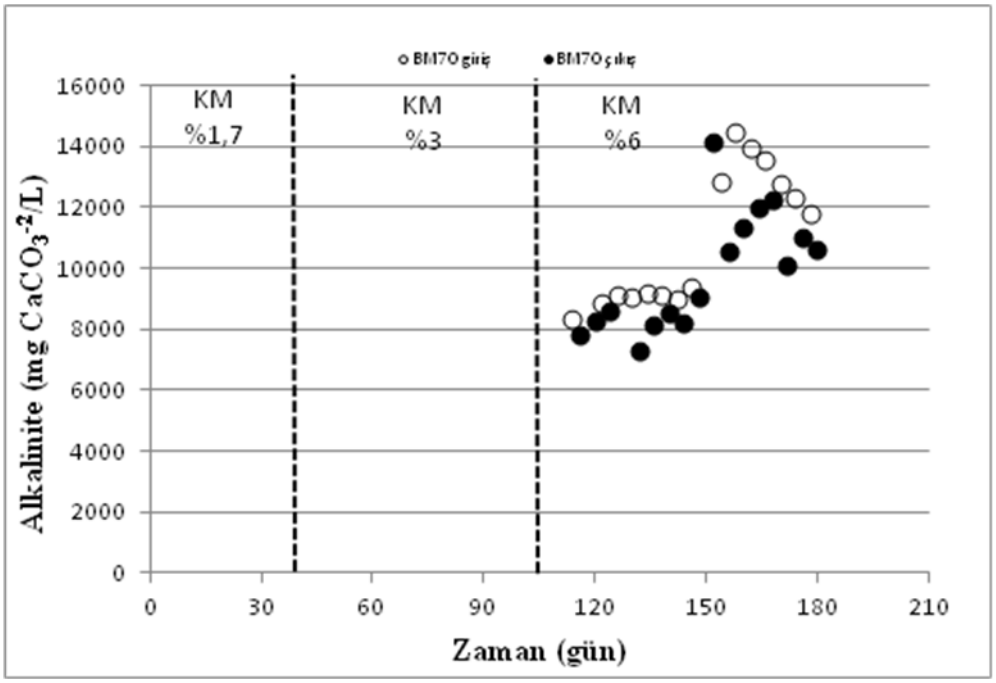


Şekil 4.22: BM70 reaktöründeki KOİçöz'nin zamana bağlı olarak değişimi.

BM70 reaktör girişinde ortalama KOİçöz %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 9254, 17684 ve 36134 mg/L, çıkışında ise sırasıyla 8406, 13755 ve 31460 mg/L değerindedir. Standart sapmaların giriş değerleri sırasıyla 1150, 4944 ve 9004 mg/L'dir. Bu değerler reaktör çıkışında sırasıyla 666, 4906 ve 8749 mg/L'dir.

BM70 reaktöründe $KOİ_{çöz}$ giderimi yüzde olarak 1.Dönem %9, 2. Dönem %22, 3.Dönem %11 olarak hesaplanmıştır.

Alkalinite analizleri için reaktörlerden belli dönemde numune alınmıştır. Bu dönem reaktördeki katı madde miktarının %6 olduğu zaman dilimine denk gelmektedir. Reaktörlerde yaklaşık olarak 70 günlük zaman aralığında alkalinite parametresi ölçülmüştür. Alınan numunelere yapılan analiz sonuçları aşağıda verilmektedir.



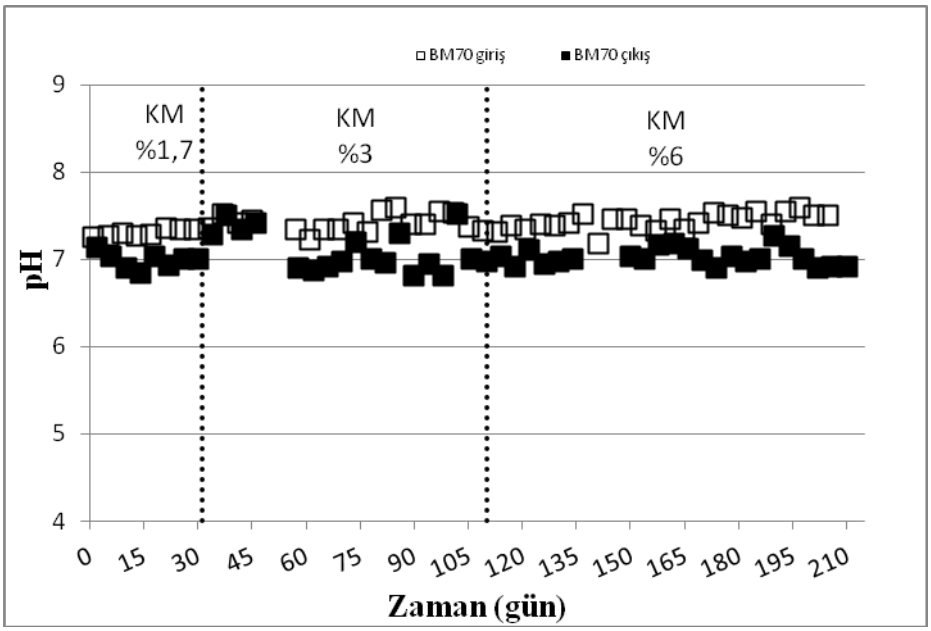
Şekil 4.23: BM70 reaktöründeki alkalinitenin zamana bağlı olarak değişimi.

BM70 reaktöründe ortalama Alkalinite %6'lık besleme için 10382 mg $CaCO_3^{-2}$/L değerindedir. Standart sapmaların değeri ise 2104 mg $CaCO_3^{-2}$/L olarak hesaplanmıştır.

Biyolojik sistemlerde alkalinite, ayrışma için gerekli pH değerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitlerin tamponlanma kapasitesini göstermektedir. Yemek atığı içerisinde yer alan kolay bozunan organik maddelerin ayrışmasından sonra açığa çıkan amonyum gibi tamponlama kapasitesi yüksek iyonların çözünmesi ile alkalinite miktarı artmaktadır.

Buna karşılık hayvan atığı içeriğinde bulunan maddeler zor ayrışan maddeler olup, tamponlama kapasitesini düşürmektedir. Bu noktada hayvan ve yemekhane atıklarının birlikte arıtılması ile, sistem performansında artış gözlenmektedir. Bakıldığında bu iki atık türü birbirini üzerinde olumlu etki yaparak, üretilen metan gazının artmasını sağlamaktadır.

BM70 reaktöründeki pH ve gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.24'de verilmektedir.



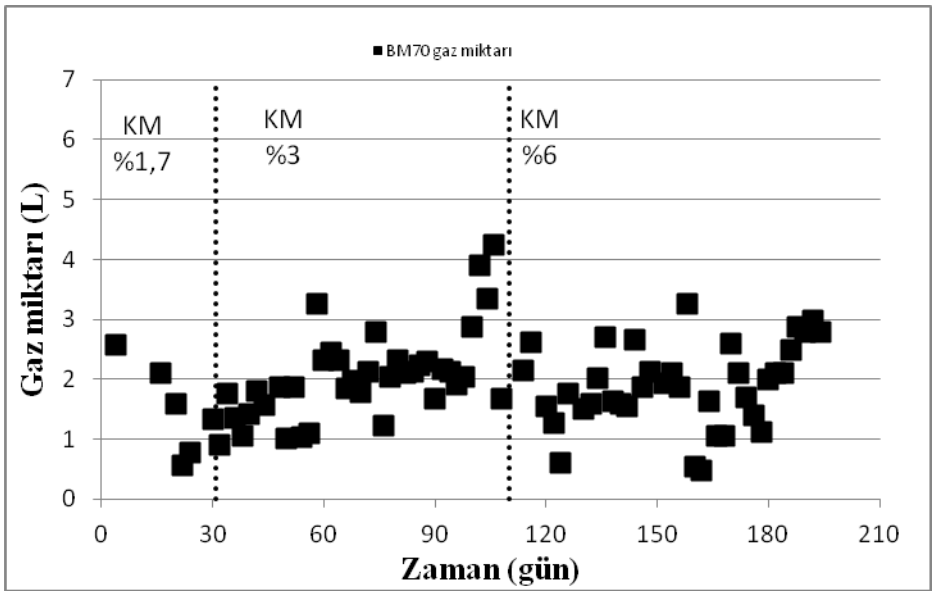
Şekil 4.24: BM70 reaktöründeki pH'ın zamana bağlı olarak değişimi.

BM70 reaktör girişinde ortalama pH %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 7.3, 7.4 ve 7.4, çıkışında ise sırasıyla 7.1, 7.0 ve 7.0 değerindedir. Standart sapmaların giriş değerleri sırasıyla 0.1, 0.1 ve 0.1 dir. Bu değerler reaktör çıkışında sırasıyla 0.1, 0.2 ve 0.1 dir.

Reaktör çıkış numuneleri, besleme sonrasında alınan numuneler olup, reaktör giriş numuneleri ise besleme öncesi alınan numunelerdir. Reaktörlerdeki pH ayarı el ile asit-baz ekleyerek yapılmıştır. Her besleme öncesinde ve sonrasında ölçülüp istenilen seviyeye çekilmiştir. pH ayarlaması yapılır iken anaerobik ayrışmanın yüksek verimde gerçekleşmesi için, ayrışmayı gerçekleştiren bakterilerin yüksek verimde çalışabilceği pH seviyesi şeçilmiştir. Bu seçim yapılırken önceki çalışmalar göz önüne alınmıştır.

Bu nedenle pH seviyesinin 7- 7,6 arasında kalması istenmiştir. Çıkış değerinin yüksek olduğu günlerde, giriş pH seviyesinide yukarılara çekerek, bakterilerin bu pH seviyesinde nasıl çalıştığı anlaşılmaya çalışılmıştır. En yüksek pH değerinin BHM35 reaktöründe olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni bu reaktörün diğer reaktörlere kıyasla daha iyi çalışması, daha fazla gaz üretmesine bağlanabilmektedir.

BH70 reaktöründe ise pH seviyesinin daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni, üretilen hidrojenin artması ile reaktör içi organik asit seviyesinin artmasıdır. Asit miktarının artması ile reaktördeki pH seviyesinde düşme gözlenmiştir.



Şekil 4.25: BM70 reaktöründeki üretilen gaz miktarının zamana bağlı olarak değişimi.

BM70 reaktör ortalama gaz üretimi 1,72 L/gün değerindedir. Standart sapma değeri ise 0,86 L/gün' dür.

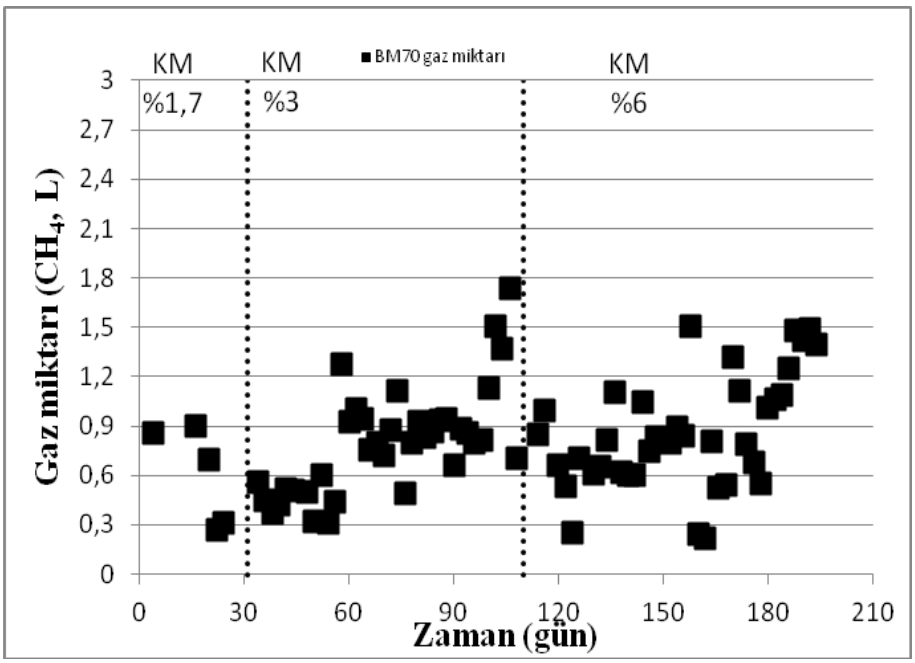
Reaktörlerde üretilen gaz miktarları dikkate alındığında BM70 reaktörünün gaz üretim veriminin daha az olduğu gözlenmektedir. Bu reaktörden 40.güne kadar istenilen verim alınamamıştır. Bunun nedeni olarak kullanılan aşının yetersiz olduğu düşünülmektedir. 40.günden sonra başka bir Biyometan aşısı eklenmiş ve sistem performansında artış gözlenmiştir. Gaz miktarındaki artışın diğer nedeni ise reaktöre beslenen atık miktarının arttırılması ile birlikte üretilen gaz miktarının artmasıdır.

BHM35 reaktörü ise gaz eğrisine baktığımızda genel olarak düzenli olarak bir artış olduğu söylenebilmektedir. 120. güne gelindiğinde reaktör beslemesinde düzensizlikler yaşandığından, reaktörde üretilen gaz miktarının azaldığı gözlenmiştir. 15-20 günlük zaman dilimi içerisinde bu durum düzeltilmiş reaktör beslemeleri eski düzenine koyulduktan sonra üretilen gaz miktarı eski haline gelmiş ve düzene girmiştir.

BH70 reaktörü gaz eğrisine bakıldığında 80. güne kadar, reaktörde gaz üretimi gözlenmiştir. 75-80 günler arasında bu reaktöre yeast extract maddesi konulmuş ve gaz miktarındaki değişme gözlenmiştir. Eklenen bu madde olumlu sonuç vermiş ve gaz üretim miktarında önemli derecede artış gözlenmiştir. Bu madde yaklaşık 5 beslemede atıklar ile birlikte reaktöre aktarılmıştır. Bu zaman dilimi yaklaşık 10-15 güne denk gelmektedir.

Reaktörler gaz ve pH değerlerine göre incelendikten sonra, BM70 ve BHM35 reaktörlerinde üretilen gazın metan olarak miktarı, BH70 reaktöründe üretilen gazın ise hidrojen olarak üretilen gaz miktarları hesaplanmıştır.

Bu hesap yapılırken günlük ortalama üretilen metan ve hidrojen gazı hesapları yapılırken GC'den okunan metan ve hidrojen yüzdeleri kullanılmıştır. Reaktörlerde üretilen toplam gaz üretim miktarları bu yüzdeler ile çarpılarak, Şekil 4.26 elde edilmiştir.



Şekil 4.26: BM70 reaktöründeki üretilen metan gazı miktarının zamana bağlı olarak değişimi.

BM70 reaktör ortalama günlük gaz üretimi %1,7, %3 ve %6'lık beslemeler için sırasıyla 482, 715 ve 811 mL/$CH_{4.}$gün değerindedir. Standart sapma değerleri sırasıyla 327, 272 ve 366 mL/$CH_{4.}$gün' dür.

Reaktörlerde 08/06/2011-26/07/2011 tarihleri arasında alınan numuneler alınmıştır. Alınan bu numunelere UYA analizleri yapılmştır. Yaklaşık olarak 160.- 206. günler arasında alınan numunelerde UYA parametrelerine bakılmıştır. Geriye kalan günlerde ise rutin işletme koşullarında UYA analizi yapılmamıştır.

Yapılan analiz sonuçları ile ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalardan yola çıkılarak her reaktör için şekiller elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına değerler Şekil 4.27'de verilmektedir. Şekilde elde edilen asit değerleri sisteme giriş ve çıkış değerleri ile birlikte verilerek, bu değerler arasında kıyaslama yapılması sağlanmıştır.



Şekil 4.27: BM70 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı olarak değişimi.

Çizelge 4.2 : BH70 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler.

Parametreler	**Birimi**	**I.DÖNEM (%1,7 KM)**				**II.DÖNEM (%3 KM)**				**III.DÖNEM (%6 KM)**			
		Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık
pH, giriş	-	7,4	0,1	7,4	7,2-7,5	7,4	0,1	7,4	7,2-7,5	7,4	0,1	7,4	7,2-7,6
pH, çıkış	-	6,5	0,6	6,5	5,6-6,7	6,3	0,5	6,4	5,6-6,9	6,4	0,2	6,4	5-9-6,9
KM, giriş	mg/L	24345	4094	24580	18980-28040	34876	6232	35010	19960-51430	66223	8471	67050	50080-79880
KM, çıkış	mg/L	23437	4145	22460	18770-29760	32361	5573	34200	18970-40040	64478	6998	64500	51120-77600
UKM, giriş	mg/L	17252	6350	17250	9990-24300	23178	5395	23870	10650-30000	50268	7213	48930	35730-63450
UKM, çıkış	mg/L	15382	5576	12200	9100-22450	21934	5998	20790	10870-32270	46898	9047	45840	26870-59250
UKM/KM, giriş	%	69	15	67	53-81	66	11	66	53-79	76	8	78	61-87
UKM/KM, çıkış	%	64	13	57	48-82	67	11	66	49-89	72	10	74	53-85
KOİ top, giriş	mg/L	25049	4585	23267	20792-33140	39865	6704	40012	20100-57680	86114	19868	77680	61772-113950
KOİ top, çıkış	mg/L	25633	3269	25785	20764-29646	39660	3223	40113	29534-44254	81128	17416	74177	57130-119568
KOİ çöz, giriş	mg/L	12932	1881	12468	10990-15440	18156	3891	17762	11708-30650	39437	11159	35876	30955-65876
KOİ çöz, çıkış	mg/L	13564	2868	12602	11189-19998	18266	2369	18011	14465-24742	40011	11167	35657	28975-64705
KOİçöz/KOİtop, giriş	%	52	9	48	45-73	46	6	45	32-58	47	7	48	34-62

Çizelge 4.2 (devam) : BH70 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler.

Parametreler	**Birimi**	**I.DÖNEM (%1,7 KM)**				**II.DÖNEM (%3 KM)**				**III.DÖNEM (%6 KM)**			
		Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık
KOİçöz/KOİtop, çıkış	%	53	11	50	39-73	46	8	45	36-70	48	7	49	33-61
KOİtop/UKM, giriş	-	1,60	0,48	1,68	0,93-2,17	1,77	0,30	1,81	1,30-2,25	1,77	0,49	1,63	1,29-2,91
KOİtop/UKM, çıkış	-	1,75	0,57	1,71	0,94-2,60	1,96	0,56	1,94	1,15-3,01	1,78	0,40	1,68	1,21-2,69
Alkalinite	mg $CaCO_3$/L									7384	889	7515	5385-8630
KM giderim verimi	%	5	6	5	(-3) ve 13	5	12	2	(-7) ve 21	6	6	5	(-3) ve 18
UKM giderim verimi	%	3	5	4	(-6) ve 9	1	6	1	(-7) ve 21	2	5	1	(-8) ve 10
KOİ top Giderim verimi	%	3	6	1	0 ve 14	1	2	1	0 ve 6	4	4	3	0 ve 15
KOİçöz Giderim verimi	%	-6	24	-9	(-16) ve 28	-7	26	2	(-76) ve 15	0	10	2	(-26) ve 26

Çizelge 4.3 : BHM35 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler.

Parametreler	Birimi	I.DÖNEM (%1,7 KM)				II.DÖNEM (%3 KM)				III.DÖNEM (%6 KM)			
		Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık
pH, giriş	-	7,4	0,1	7,3	7,2-7,6	7,5	0,1	7,5	7,3-7,8	7,4	0,1	7,4	7,4-7,6
pH, çıkış	-	7,1	0,4	7,2	6,4-7,6	7,5	0,3	7,4	7,2-8	7,4	0,1	7,5	7,4-7,5
KM, giriş	mg/L	15169	4198	14470	9500-20580	26021	4524	25230	19700-32120	48220	10216	52700	31000-59240
KM, çıkış	mg/L	14291	4646	13100	9880-22130	22819	4634	21740	17040-30100	38790	8550	39290	27610-53120
UKM, giriş	mg/L	10254	3878	9425	5210-16050	16776	5064	15080	10070-28700	31482	5837	33100	21430-37890
UKM, çıkış	mg/L	9273	4404	7340	5300-17100	13303	4921	11710	8340-26000	24325	6427	22680	16100-37590
UKM/KM, giriş	%	66	7	66	55-79	64	10	62	49-90	66	3	66	61-70
UKM/KM, çıkış	%	63	10	61	52-79	58	12	55	45-86	63	8	62	52-67
KOİ top, giriş	mg/L	17736	5968	15106	11344-28555	27535	4459	25134	21636-35658	55671	10621	56310	34670-68912
KOİ top, çıkış	mg/L	17261	7244	13698	1117-29642	2251	4455	20978	17108-29757	43192	9767	41210	27660-56628

Çizelge 4.3 (devam) : BHM35 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler.

Parametreler	Birimi	I.DÖNEM (%1,7 KM)				II.DÖNEM (%3 KM)				III.DÖNEM (%6 KM)			
		Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık
KOİçöz Giderim verimi	%	10	14	2	3 ve 39	31	16	33	3 ve 57	31	15	34	9 ve 59
KOİ çöz, giriş	mg/L	9237	2507	8964	6188-14040	14598	2204	14343	11760-20720	33603	9043	31404	20900-46680
KOİ çöz, çıkış	mg/L	9184	3507	7899	5790-15267	9832	2746	9738	4213-12715	22683	6865	23278	11850-35210
KOİçöz/KOİtop, giriş	%	53	6	52	46-62	54	7	54	43-65	62	6	63	51-71
KOİçöz/KOİtop, çıkış	%	54	10	52	38-73	44	10	44	20-57	53	9	56	31-63
KOİtop/UKM, giriş	-	1,78	0,27	1,79	1,38-2,18	1,72	0,32	1,70	0,84-2,28	1,76	0,14	1,80	1,47-2,00
KOİtop/UKM, çıkış	-	1,82	0,29	1,74	1,47-2,43	1,83	0,45	1,83	0,73-2,28	1,73	0,23	1,70	1,49-2,07
Alkalinite	mg $CaCO_3$/L									11094	904	10930	7710-11690
Gözlenen Metan üretimi	mL CH_4/gün	783	493	788	200-1425	1678	963	1586	981-3278	2397	1362	3061	1948-3565
Giderilen Top KOİ ye göre beklenen teorik metan üretimi	mL CH_4/gün	1057	644	1220	949-1745	2012	1036	2030	279-4598	4174	3385	4586	990-8579
Metan Üretim verimi, Gözlenen Metan üretimi/teorik metan	%	68	48	60	51-123	83	194	95	31-135	57	42	61	35-292

üretimi													

Çizelge 4.3 (devam) : BHM35 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler.

Parametreler	**Birimi**	**I.DÖNEM (%1,7 KM)**				**II.DÖNEM (%3 KM)**				**III.DÖNEM (%6 KM)**			
		Ortalama	**Std. Sapma**	**Medyan**	**Aralık**	**Ortalama**	**Std. Sapma**	**Medyan**	**Aralık**	**Ortalama**	**Std. Sapma**	**Medyan**	**Aralık**
KM giderim verimi	%	5	6	2	1 ve 15	11	5	9	6 ve 21	16	7	16	3 ve 28
UKM giderim verimi	%	8	10	3	1 ve 27	20	9	23	8 ve 40	20	11	19	6 ve 38
KOİ top Giderim verimi	%	8	10	6	15 ve 21	17	8	16	4 ve 33	20	9	21	6 ve 32
Biyogazdaki Metan oranı	%	60	9	58	49-70	60	5	56	53-63	63	5	64	56-71

Çizelge 4.4 : BM70 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler.

Parametreler	Birimi	I.DÖNEM (%1,7 KM)				II.DÖNEM (%3 KM)				III.DÖNEM (%6 KM)			
		Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık
pH, giriş	-	7,3	0,1	7,4	7,2-7,5	7,4	0,1	7,4	7,2-7,5	7,4	0,1	7,3	7,2-7,5
pH, çıkış	-	7,1	0,2	7,0	6,8-7,4	7,0	0,1	7,0	6,9-7,5	7,0	0,2	7,0	6,9-7,5
KM, giriş	mg/L	17034	3291	18700	11750-20040	28868	7233	30030	17120-31330	56869	4936	56890	37650-65560
KM, çıkış	mg/L	15758	3609	18000	10340-20110	25983	7604	27620	16030-39710	52479	6922	51220	19700-54320
UKM, giriş	mg/L	11111	3484	13210	6330-14870	18954	5933	18400	8650-27990	37533	8594	35430	25760-52230
UKM, çıkış	mg/L	9713	3191	11450	5500-13030	16538	6300	15000	7510-28220	32431	7770	31650	37360-64910
UKM/KM, giriş	%	64	10	66	52-74	65	7	63	56-74	66	11	63	56-89
UKM/KM, çıkış	%	60	8	61	53-72	62	8	64	46-79	61	9	60	51-84
KOİ top, giriş	mg/L	18803	2845	18408	14972-24777	31469	6787	32330	17803-47460	71215	14343	68790	52204-116220
KOİ top, çıkış	mg/L	17659	2065	17730	14682-20484	26640	5191	27927	15058-32120	64841	14492	67760	44102-110107
KOİ çöz, giriş	mg/L	9254	1150	9049	8149-11760	17684	4944	15546	9022-24276	36134	9004	35442	24629-63198
KOİ çöz, çıkış	mg/L	8406	666	8260	7520-9462	13755	4906	12850	7850-20887	31460	8749	29632	19318-58709
KOİçöz/KOİtop, giriş	%	49	2	49	47-52	56	9	54	44-69	51	6	53	41-60

KOİçöz/KOİtop, çıkış	%	48	4	49	41-52	51	11	48	33-65	49	6	50	44-59

Çizelge 4.4 (devam) : BM70 şişesinde saptanan parametrelere ait istatistiki veriler.

		I.DÖNEM (%1,7 KM)				II.DÖNEM (%3 KM)				III.DÖNEM (%6 KM)			
Parametreler	**Birimi**	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık	Ortalama	Std. Sapma	Medyan	Aralık
KOİtop/UKM, giriş	-	1,81	0,45	1,67	1,38-2,51	1,73	0,30	1,74	1,31-2,29	1,95	0,43	2,00	1,32-3,12
KOİtop/UKM, çıkış	-	1,94	0,51	1,81	1,30-2,67	1,71	0,41	1,73	1,30-2,67	2,03	0,43	2,06	1,05-2,50
Alkalinite	mg $CaCO_3$/L									10382	2104	9390	5155-12220
Gözlenen Metan üretimi	mL CH_4/gün	482	327	315	272-858	715	272	749	310-1331	811	366	723	247-1589
Giderilen Top KOİ ye göre beklenen teorik metan üretimi	mL CH_4/gün	380	291	267	50-841	1734	483	1711	869-2786	2334	1947	1478	69-3915
Metan Üretim verimi, Gözlenen Metan üretimi/teorik metan üretimi	%	170	85	163	88-257	44	19	40	30-91	53	51	29	7-116
Biyogazdaki Metan oranı	%	42	6	43	33-48	31	2	31	29-35	49	1	49	45-57
KM giderim verimi	%	8	5	7	3 ve 15	9	5	8	3 ve 16	7	5	6	3 ve 17
UKM giderim verimi	%	12	6	13	3 ve 23	14	8	14	3 ve 30	12	8	12	2 ve 28
KOİ top Giderim verimi	%	6	6	3	1 ve 20	13	3	13	8 ve 18	6	4	5	3 ve 14
KOİçöz Giderim verimi	%	9	9	5	5 ve 31	22	9	20	4 ve 30	11	7	10	3 ve 22

4.3 Çevrim İçi Performans Değerlendirmesi

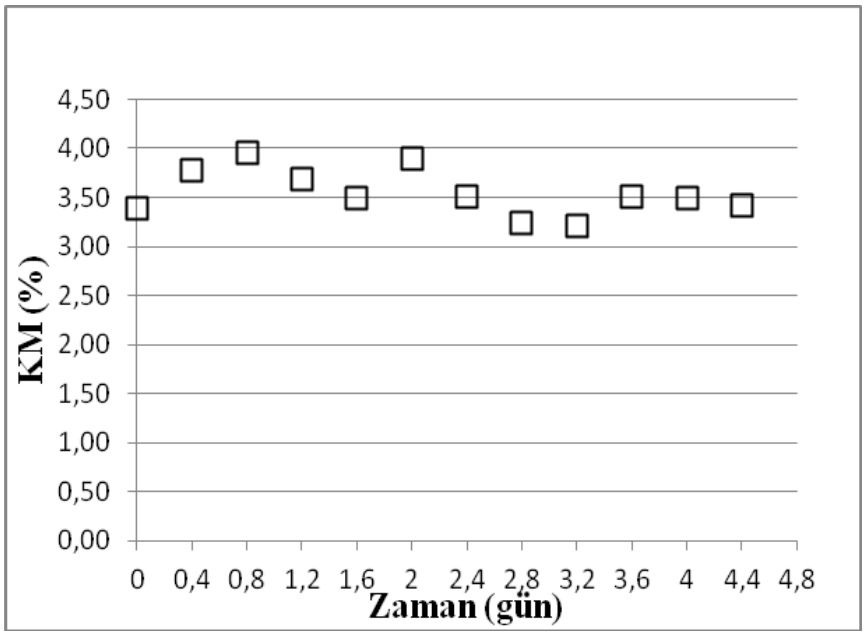
Reaktörler katı madde bakımından denge durumuna gelmeye, reaktörlerdeki metan ve hidrojen üretim miktarları sabit değerlerde gözlenmeye başlandıktan sonra 1. ve 2 dönem için çevrim içi performans değerlendirmesi yapılmıştır.

4.3.1 2.Dönemde yapılan çevrim içi performans değerlendirmesi

2.Dönemde arasında yapılan çevrim içi performans çalışmasının için reaktörlerden alınan numunelere çeşitli analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar kullanılarak aşağıdaki şekiller elde edilmiştir.

Çevrim içi performans çalışması iki kademeli ışletilen aşırı termofilik biyohidrojen + mezofilik biyometan, tek kademeli işletilen aşırı termofilik biyometan sisteminin incelenmesi olarak iki aşamada incelenmiştir.

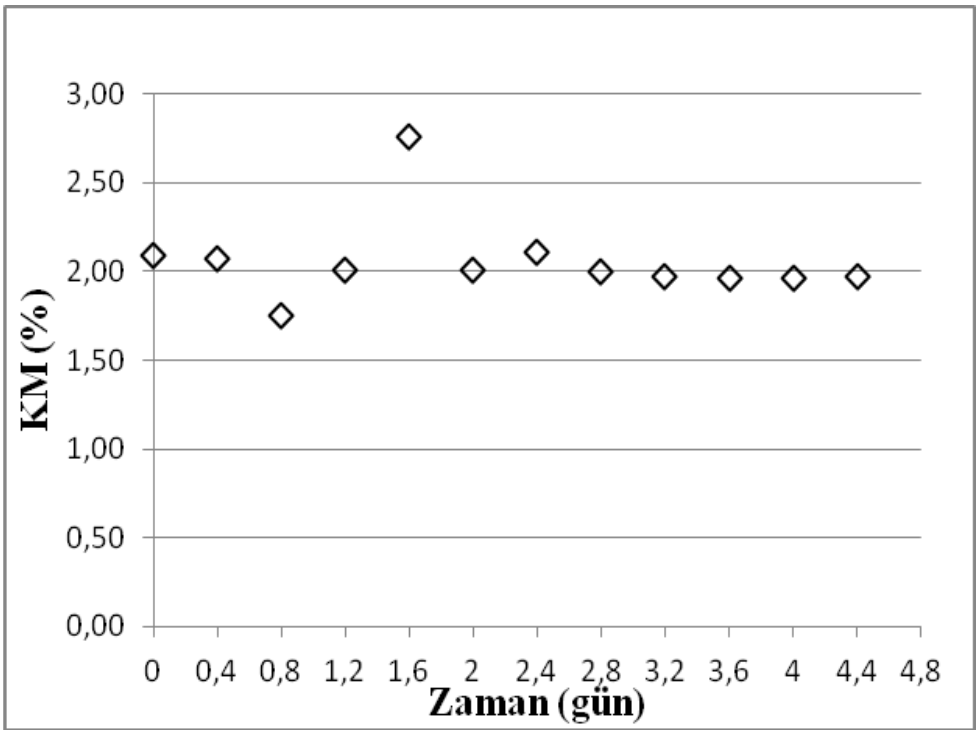
4.3.1.1 Çevrim içi performans çalışmasında iki kademeli ışletilen aşırı termofilik biyohidrojen + mezofilik biyometan sisteminin incelenmesi



Şekil 4.28 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı %KM değişimi.

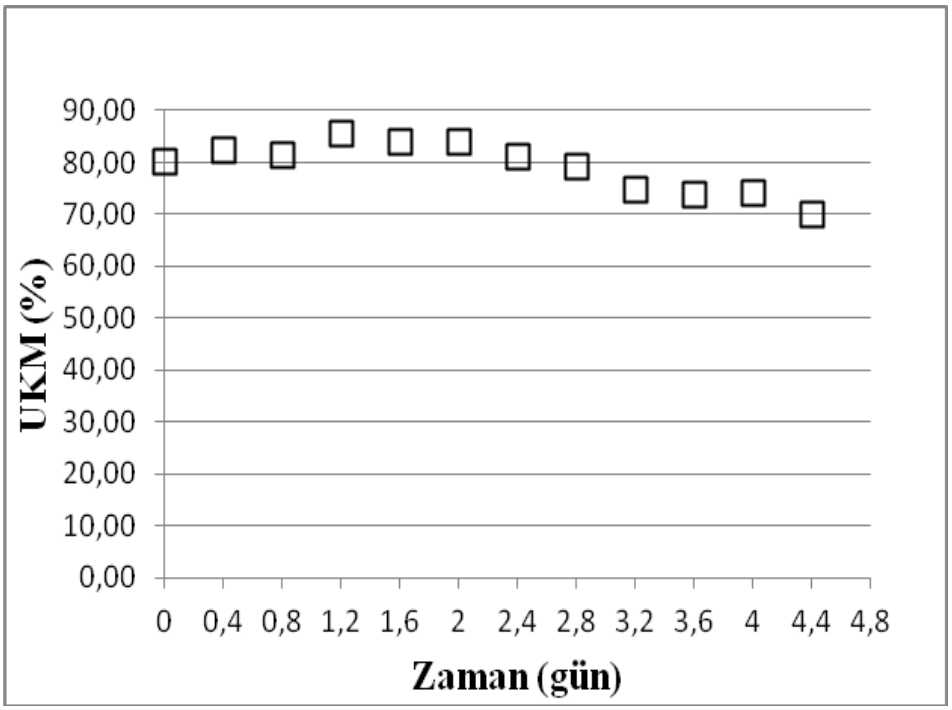
BH70 reaktöründe ortalama KM %4 değerindedir. Şekil 4.28 incelendiğinde KM miktarı yüzdesinde değişiklik olmadığı görülmektedir.

BM70 reaktöründe ortalama KM %2 değerindedir. Şekil 4.29 da ise KM yüzdesindeki değişmenin daha sabit olduğu görülmektedir.

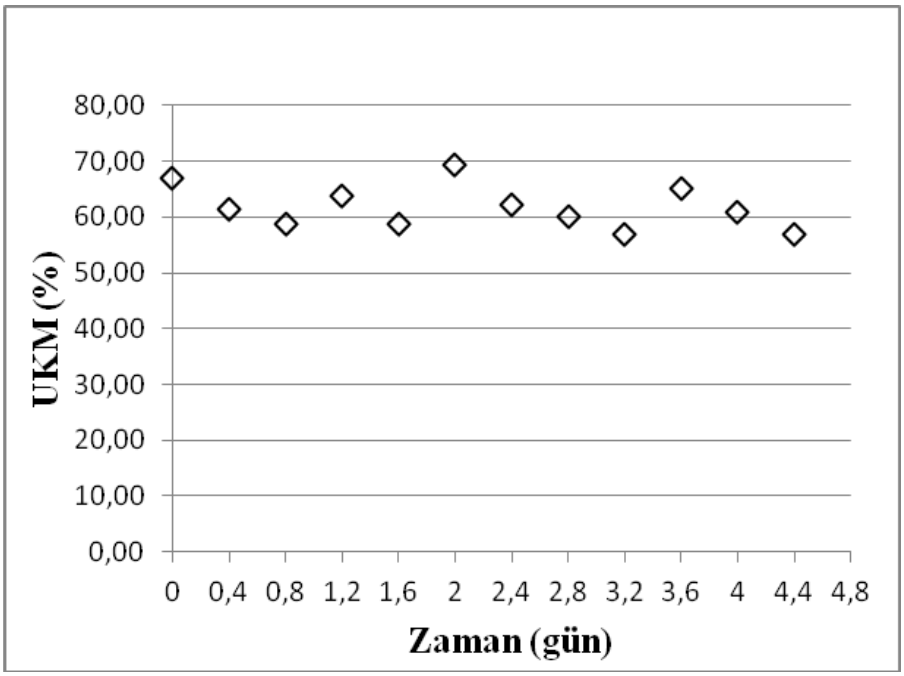


Şekil 4.29 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı %KM değişimi.

Çevrim içi performans çalışması esnasında BHM35 reaktöründe ortalama KM % 2 değerinde olduğu saptanmıştır. Çalışma süresi boyunca KM yüzdesine bakılarak, katı madde miktarının hemen hemen aynı kaldığı söylenebilmektedir.



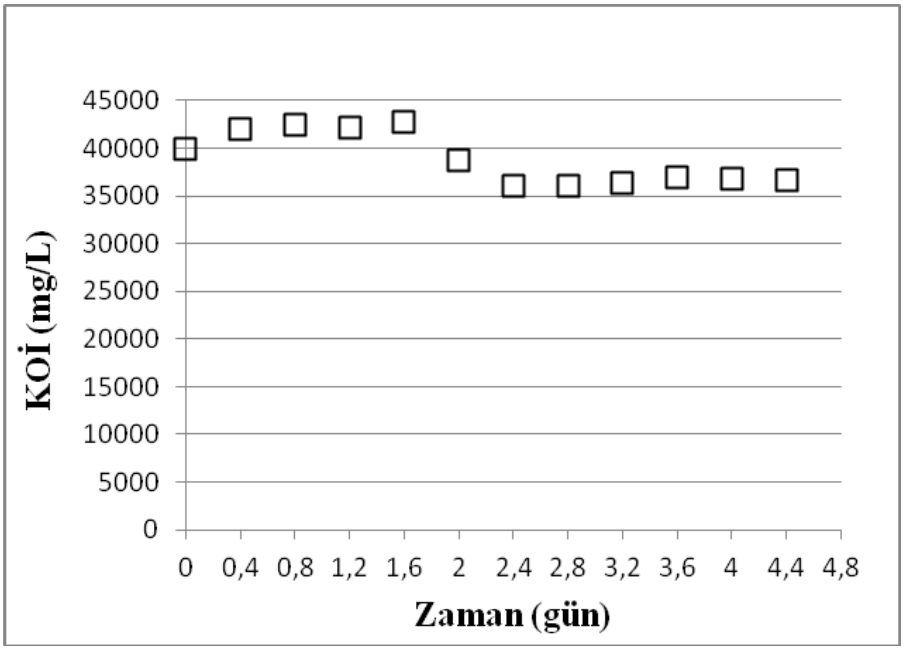
Şekil 4.30 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı %UKM değişimi.



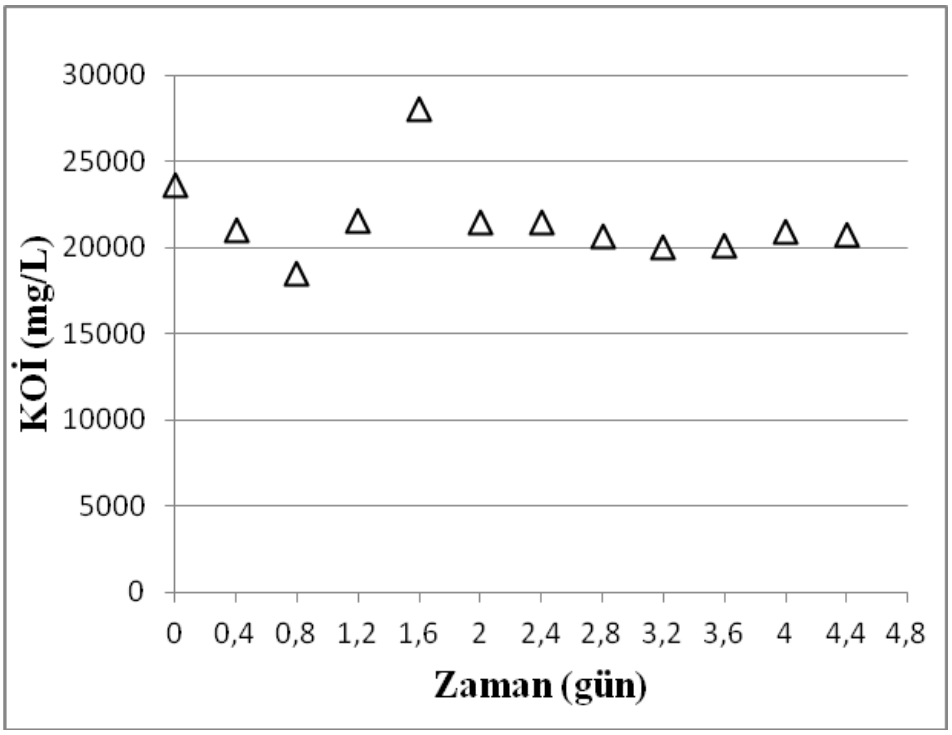
Şekil 4.31: Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı %UKM değişimi.

Çevrim içi performans çalışması esnasında BH70 reaktöründe ortalama UKM %79 değerindedir. BHM35 reaktöründe ise UKM %62 değerindedir. Yaklaşık olarak 3. günden sonra BH70 reaktöründe UKM yüzdesinin düşüş göstermektedir.

BHM35 reaktöründe ise böyle bir zamanın olmadığı ilk günden itibaren farklı pikler yaptığı gözlenmiştir.

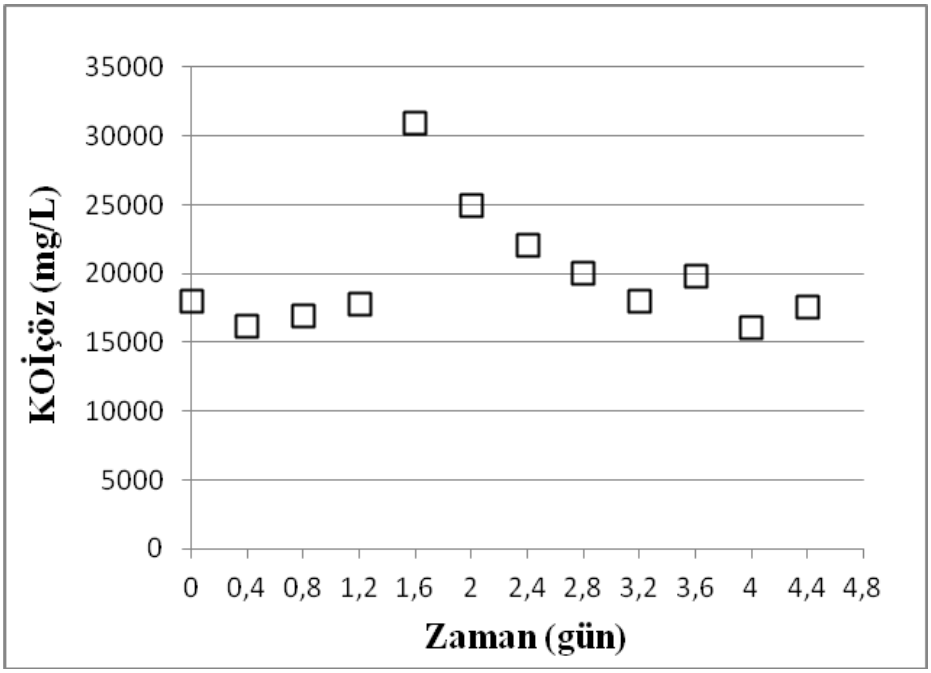


Şekil 4.32 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı KOİ değişimi.

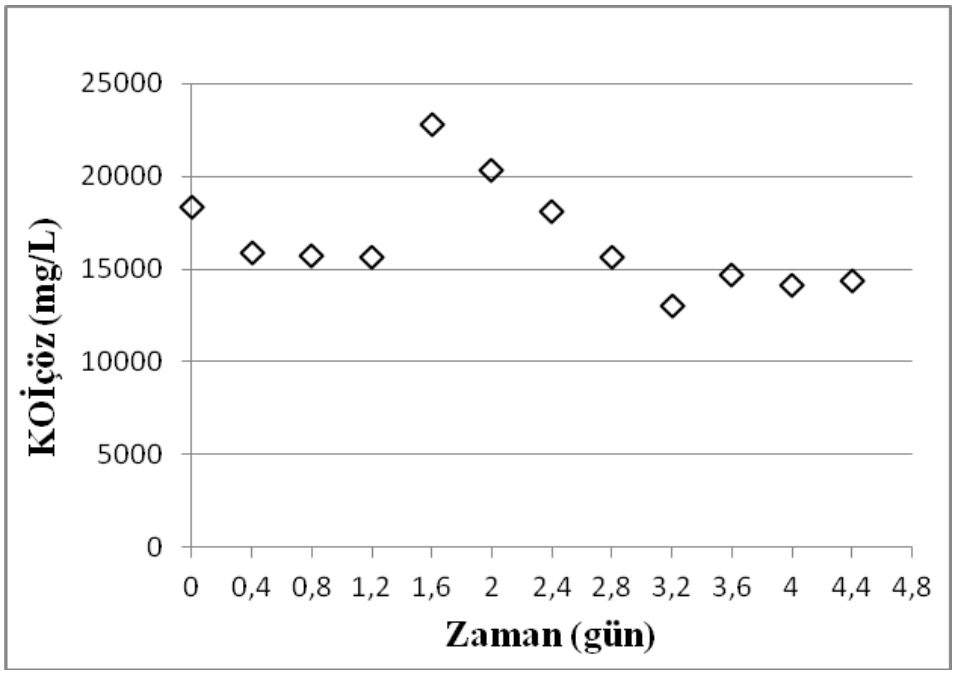


Şekil 4.33 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı KOİ değişimi.

Çevrim içi performans çalışması esnasında BH70 reaktöründe ortalama KOİ 20305 mg/L değerindedir. BHM35 reaktöründe ise ortalama KOİ 21520 mg/L değerindedir. BH70 reaktöründe KOİ değerinin, BHM35 reaktöründeki KOİ değerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



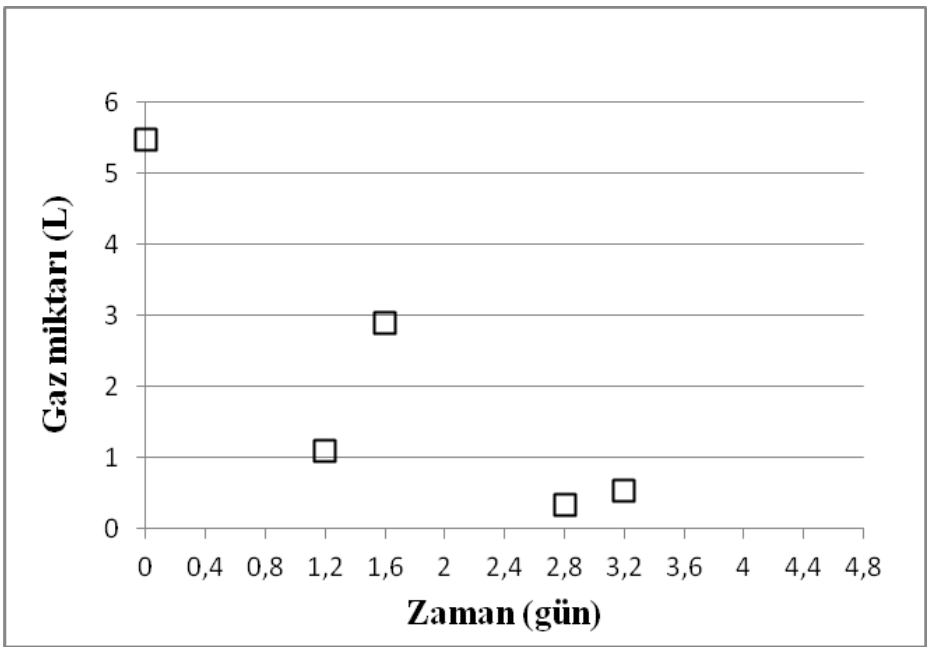
Şekil 4.34 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi.



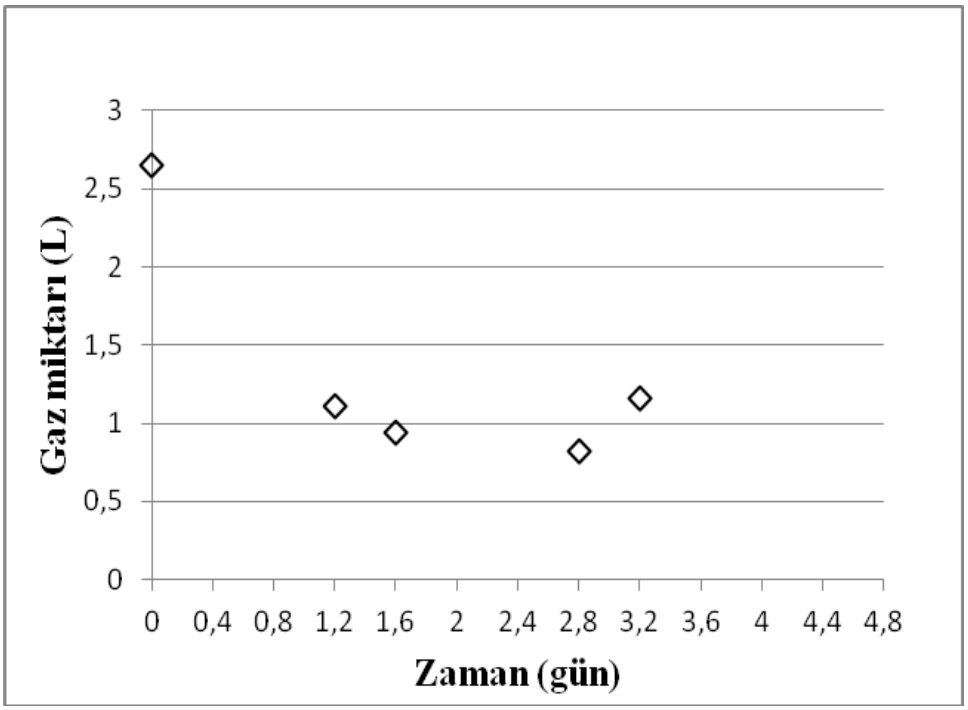
Şekil 4.35 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi.

Çevrim içi performans çalışması esnasında BH70 reaktöründe ortalama $KOİ_{çöz}$ 19849mg/L değerindedir. BHM35 reaktöründe ise ortalama $KOİ_{çöz}$ 16546 mg/L değerindedir.

BH70 ve BHM35 reaktörlerinde $KOİ_{çöz}$ değerinin 1,6 günden sonra düşüş yaptığı ve 3. günden sonra yaklaşık olarak sabit devam ettiği gözlenmiştir.



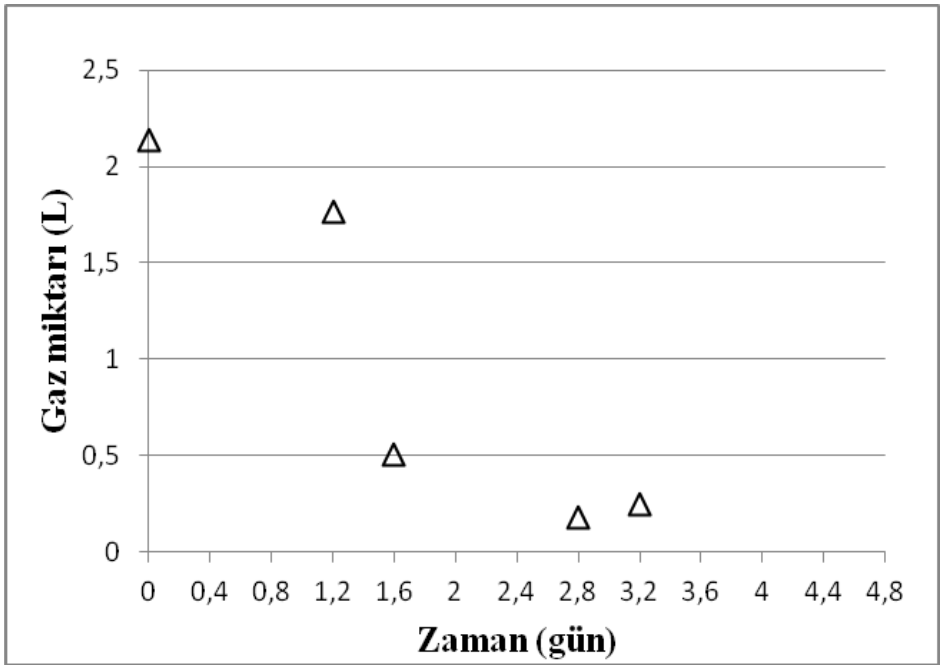
Şekil 4.36 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı gaz miktarı değişimi.



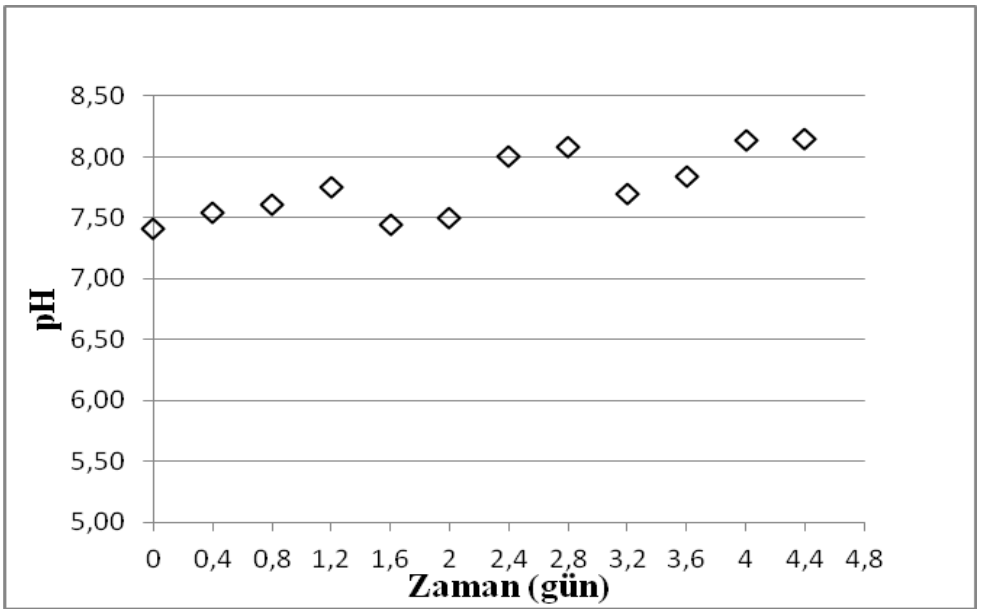
Şekil 4.37 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı gaz miktarı değişimi.

Çevrim içi performans çalışması esnasında BH70 reaktöründe ortalama gaz üretim miktarı 2 L değerindedir. BHM35 reaktöründe ise ortalama gaz üretim miktarı 1 L değerindedir.

Çalışma esnasında her iki reaktördende bazı günler gaz çıkışı gözlenmemiştir.

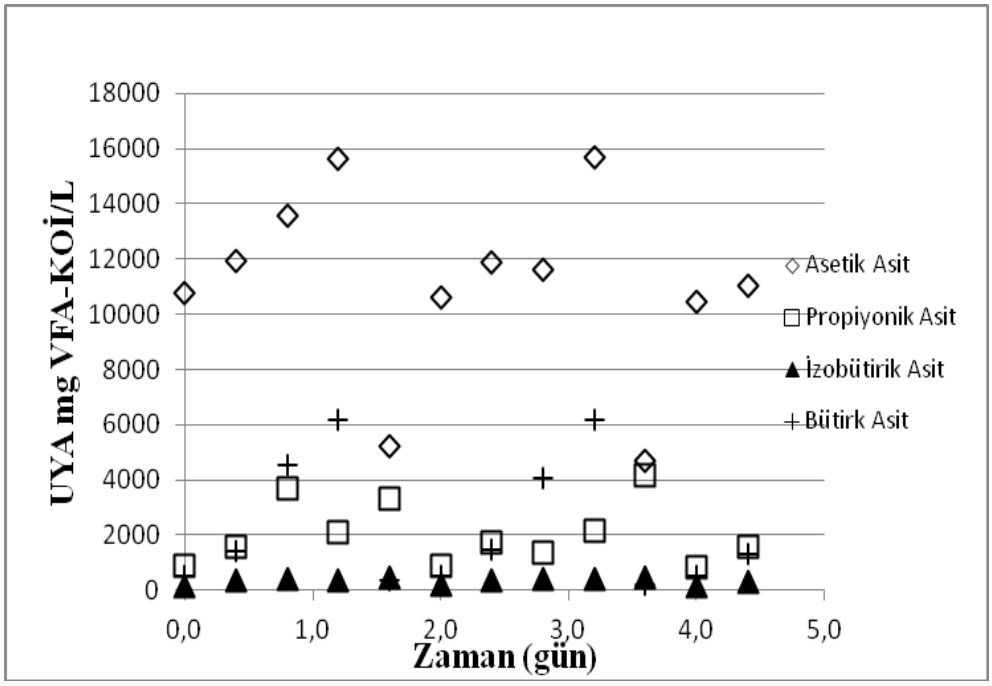


Şekil 4.38 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründe zamana bağlı pH değişimi.

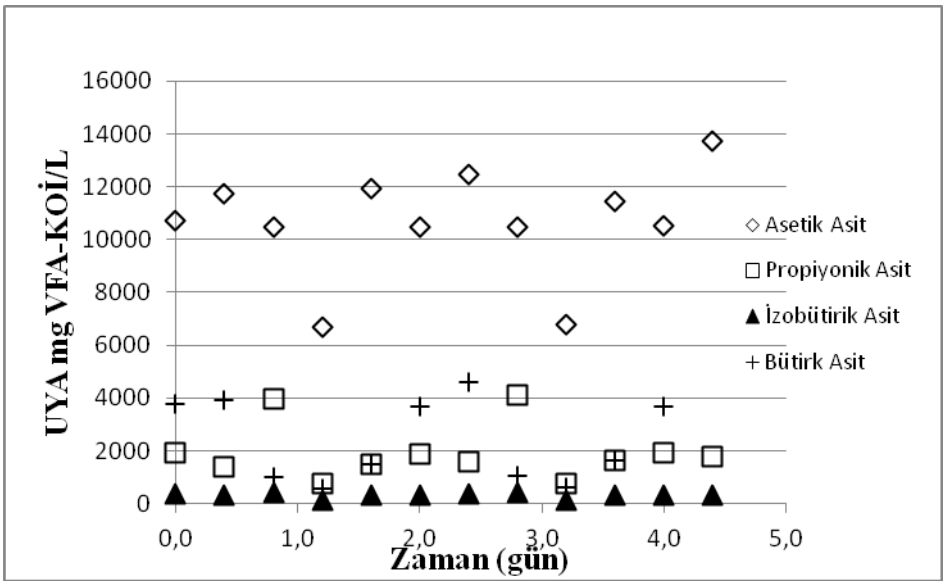


Şekil 4.39 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründe zamana bağlı pH değişimi.

Çevrim içi performans çalışması esnasında BH70 reaktöründe ortalama pH 7 değerindedir. BHM35 reaktöründe ise ortalama pH 8 değerindedir. Çalışma esnasında her iki reaktörede asit veya baz ilavesi yapılmamıştır. BHM35 reaktöründe pH değeri daha sabit iken, BH70 reaktöründe daha keskin bir düşüş gözlenmektedir. Ayrıca çevrimiçi çalışmaları sırasında alınan numunelere UYA analizleri yapılmış ve bu çalışmalara ait sonuçlar Şekil 4.40, 4.41'de verilmektedir.



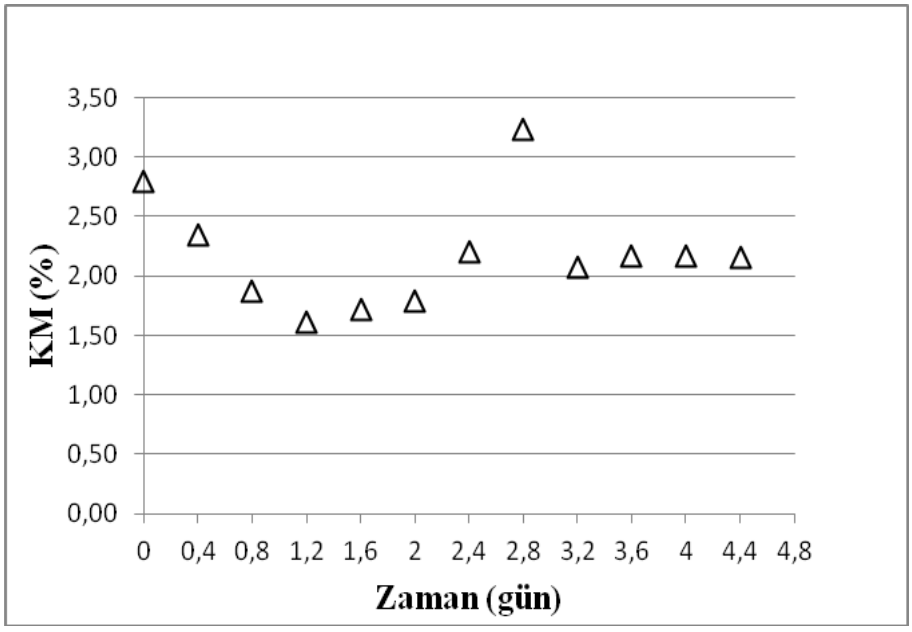
Şekil 4.40: Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BH70 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı değişimi.



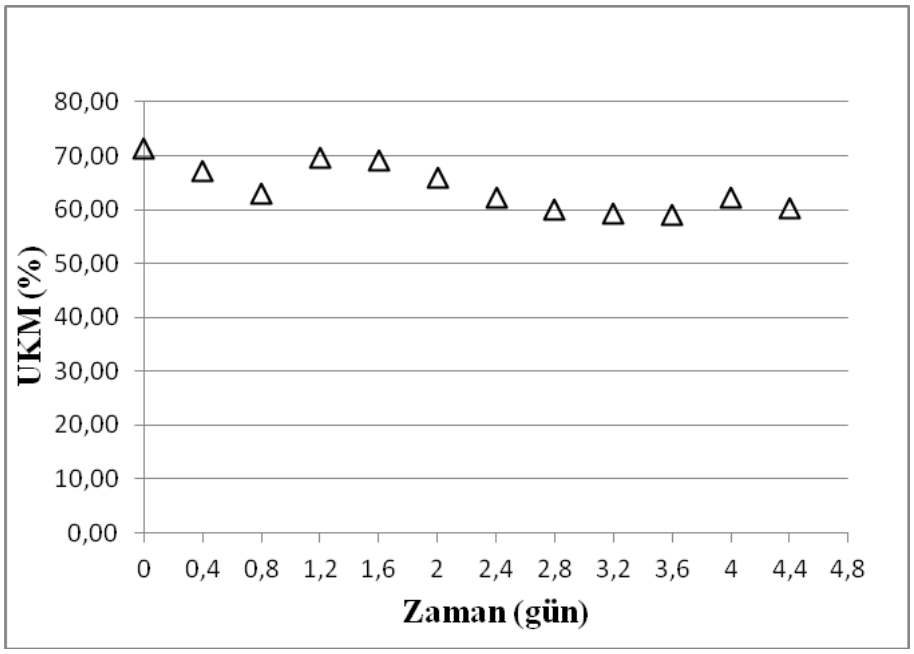
Şekil 4.41: Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BHM35 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı değişimi.

Çevrim içi performans çalışması sırasında alınan numunelere UYA analizi yapılmıştır. BHM35 reaktöründe asetik asit üretimi çalışma süresi boyunca paralel değerlerde gittiği buna rağman BH70 reaktöründe farklı pikler yaparak değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Propiyonik, izobütirik, bütirik asit üretimleri ise her iki reaktörde de birbirine yakın değerde üretildiği gözlenmiştir.

4.3.1.2 Çevrim içi performans çalışmasında tek kademeli işletilen aşırı termofilik biyometan sisteminin incelenmesi

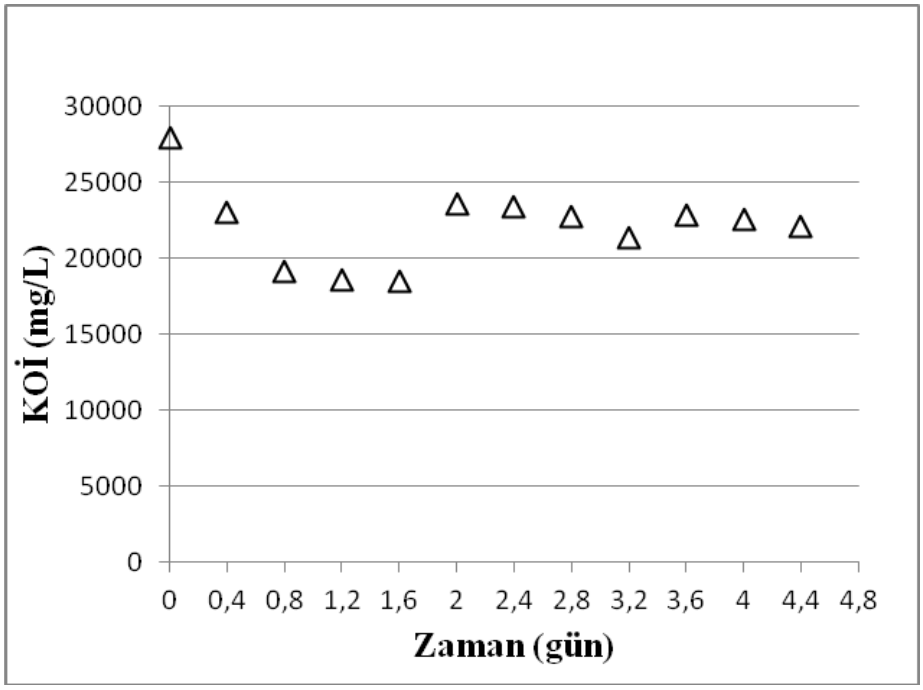


Şekil 4.42 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki KM%'nin zamana bağlı değişimi.



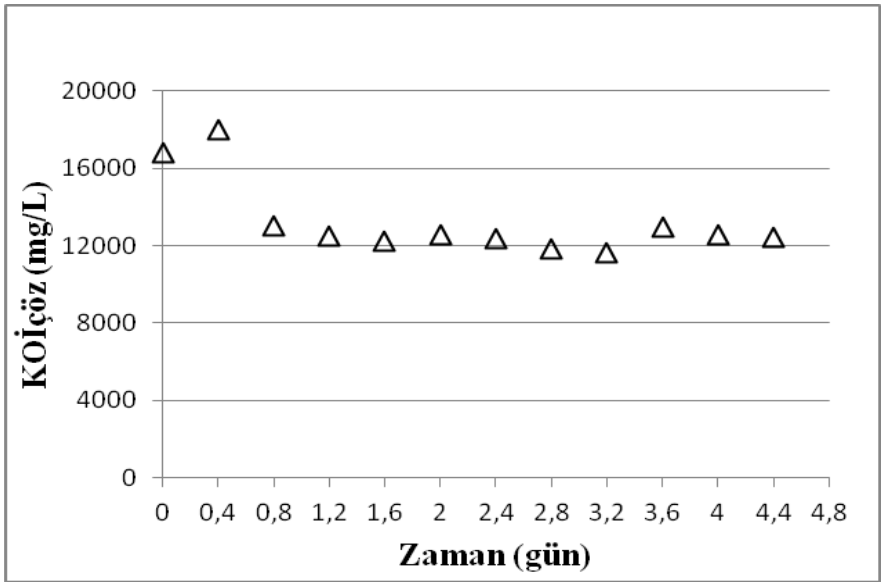
Şekil 4.43 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki UKM%'nin zamana bağlı değişimi.

Çevrim içi performans çalışması esnasında BM70 reaktöründe ortalama KM % 2 değerinde olduğu saptanmıştır. Çalışma süresi boyunca KM yüzdesine bakılarak, katı madde miktarının değişik pikler yaptığı ve yaklaşık %1,5 KM ye kadar düştüğü söylenebilmektedir. Ortalama UKM %64 değerininin olduğu saptanmıştır. UKM değerinin ise birbirine yakın olarak seyrettiği görülmektedir.



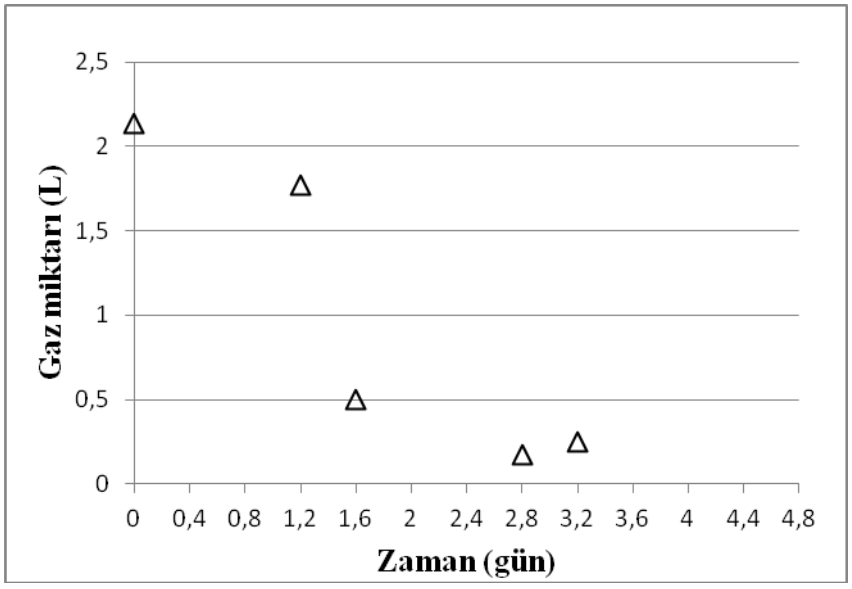
Şekil 4.44 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki KOİ'nin zamana bağlı değişimi.

Çevrim içi performans çalışması esnasında BM70 reaktöründe ortalama KOİ 22136 mg/L değerindedir. BH70 reaktöründe ortalama KOİ 20305 mg/L değerindedir. BHM35 reaktöründe ise ortalama KOİ 21520 mg/L değerindedir.



Şekil 4.45 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki $KOİ_{çöz}$ zamana bağlı değişimi.

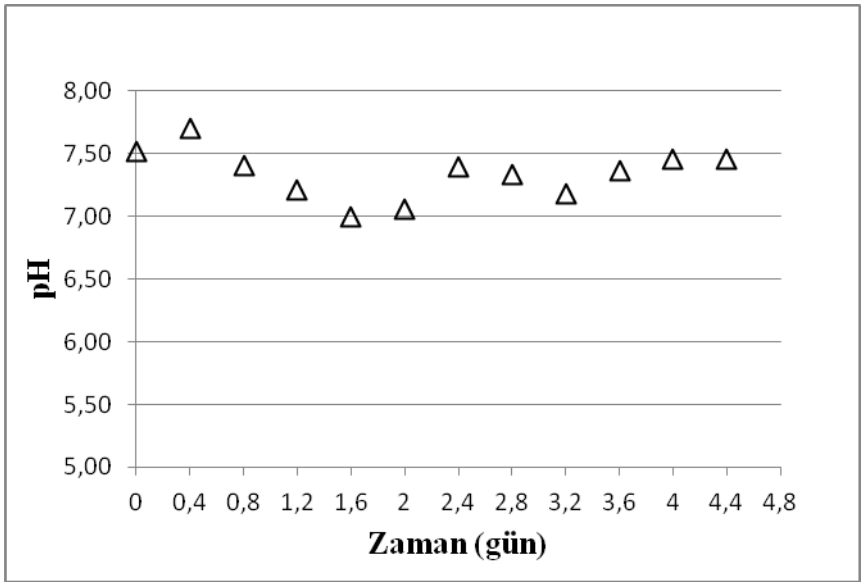
Çevrim içi performans çalışması esnasında BH70 reaktöründe ortalama $KOİ_{çöz}$ 19849mg/L değerindedir. BM70 reaktöründe ortalama $KOİ_{çöz}$ 13249 mg/L değerindedir. BHM35 reaktöründe ise ortalama $KOİ_{çöz}$ 16546 mg/L değerindedir.



Şekil 4.46 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki gaz miktarının zamana bağlı değişimi.

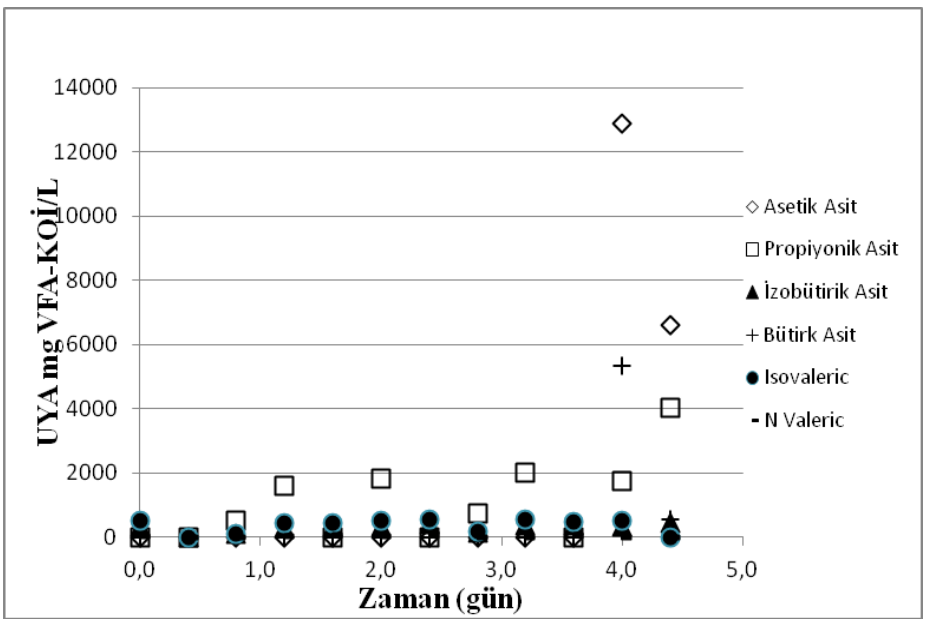
Çevrim içi performans çalışması esnasında BH70 reaktöründe ortalama gaz üretim miktarı 2 L değerindedir. BM70 reaktöründe ortalama gaz üretim miktarı 1 L

değerindedir. BHM35 reaktöründe ise ortalama gaz üretim miktarı 1 L değerindedir. Çalışma esnasında her iki reaktördende bazı günler gaz çıkışı gözlenmemiştir.



Şekil 4.47 : Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki pH'nın zamana bağlı değişimi.

Çevrim içi performans çalışması esnasında BH70 reaktöründe ortalama pH 7 değerindedir. BM70 reaktöründe ortalama pH 7 değerindedir. BHM35 reaktöründe ise ortalama pH 8 değerindedir. Çalışma esnasında her iki reaktörede asit veya baz ilavesi yapılmamıştır. BHM35 ve BM70 reaktöründe pH değeri daha sabit iken, BH70 reaktöründe daha keskin bir düşüş gözlenmektedir.



Şekil 4.48: Çevrimiçi çalışması 2. Dönem BM70 reaktöründeki UYA'nın zamana bağlı değişimi.

Çevrim içi performans çalışması sırasında alınan numunelere UYA analizi yapılmıştır. BHM35 reaktöründe asetik asit üretimi çalışma süresi boyunca paralel değerlerde gittiği buna rağman BH70 reaktöründe farklı pikler yaparak değişiklik gösterdiği gözlenmiştir. Propiyonik, izobütirik, bütirik asit üretimleri ise her iki reaktörde de birbirine yakın değerde üretildiği gözlenmiştir.BM70 reaktöründe ise tam tersine UYA değerlerinin daha düşük seviyelerde olduğu saptanmıştır.

4.4 Farklı Aşı /Substrat (I/S) ve Farklı Büyükbaş Hayvan Atığı- Yemekhane Atığı Oranlarında Yapılan Çalışma

Bu çalışmada farklı aşı/substrat oranları ve sabit katı madde miktarı ile çalışılma yapılmıştır. Farklı aşı substrat oranları 1:2, 1, 3:2, 2, 3; hayvan ve yemekhane atığı oranı ise 1:1 olacak şekilde sabit tutularak çalışma gerçekleştirilmiştir.

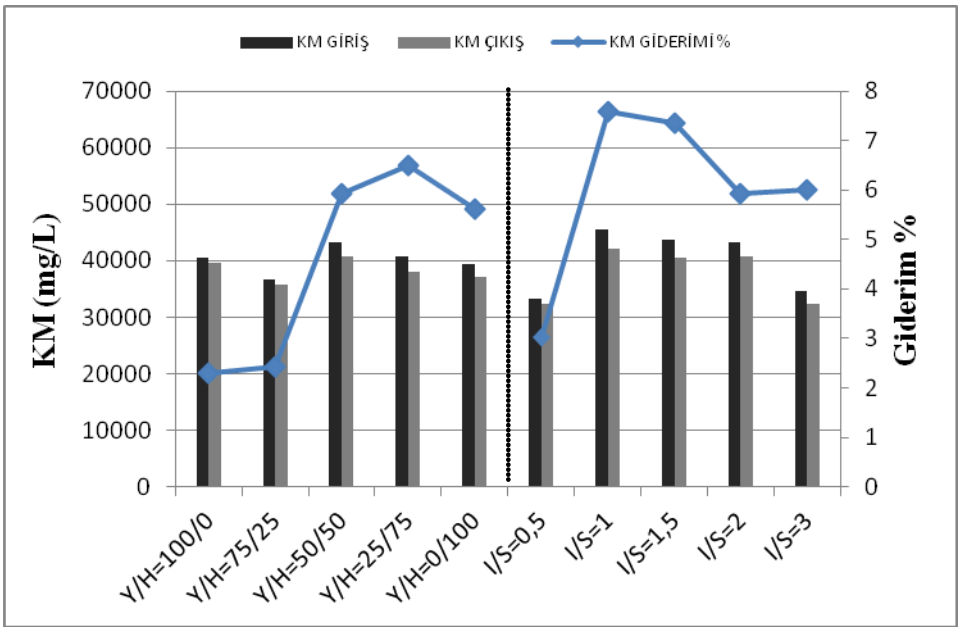
Diğer çalışmada ise aşı substrat oranı 2 olarak sabit tutularak; yemekhane ve hayvan atığı oranları sırasıyla 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:25 olacak şekilde çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışılacak olan katı madde miktarı %6 olarak hesaplanıp, çalışmalar bu şekilde yapılmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda 50 mL'lik şişelerin içerisine hayvan, yemekhane atıkları ve reaktörlerden alınan aşılar konmuştur. Yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçları aşağıda verilmektedir.

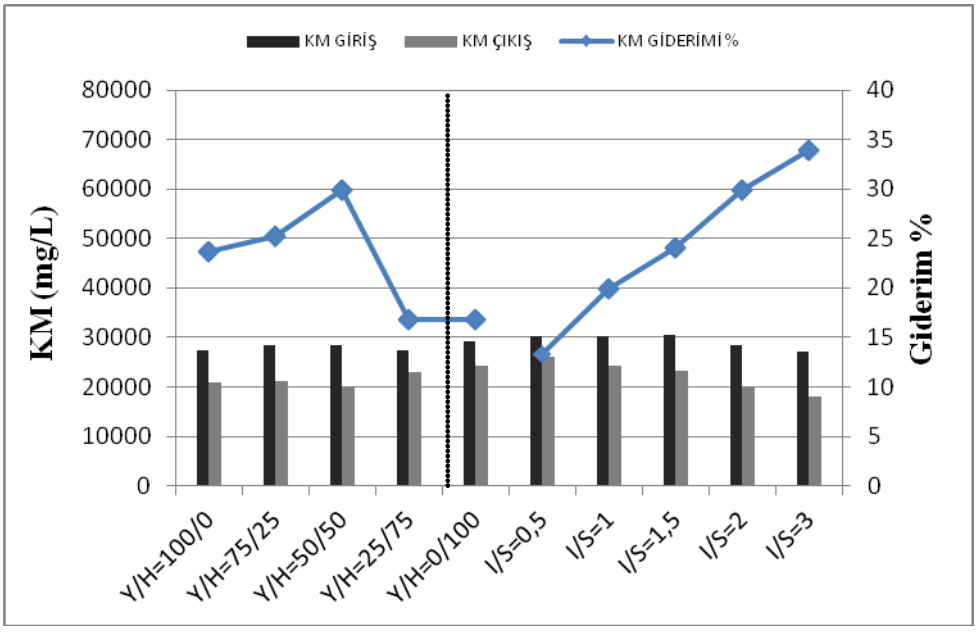
4.4.1 %6 Katı madde miktarı oranı ile yapılan farklı aşı /substrat ve farklı büyükbaş hayvan atığı- yemekhane atığı çalışması

4.4.1.1 İki kademeli işletilen aşırı termofilik biyohidrojen + mezofilik biyometan sisteminin incelenmesi

Aşağıda verilen şekillerde Y/H oranı yemek atığı ve hayvan atığı oranları, I/S oranları ise aşı ve substrat oranları ifade etmektedir. BH70 şişesinde yapılan çalışmalara ait sonuçlar Şekil 4.49, 4.50, 4.51, 4.52'de verilmektedir. Şişelerden alınan numunelere çeşitli analizler yapılarak, aşağıda verilen şekiller elde edilmiştir. Sonrasında yine bu şekiller kullanılarak, şişeler ile alakalı olarak, en yüksek verim ve en düşük verimin alındığı aşı/substrat, yemekhane ve hayvan atığı oranları saptanmaya çalışılmıştır. İlk olarak iki kademeli olarak çalıştırılan BH70 ve BHM35 şişelerine ait olan numunelere ait analiz sonuçları, sonrasında ise tek kademeli olarak çalıştırılan BM70 şişesine ait analiz sonuçları verilmiştir.



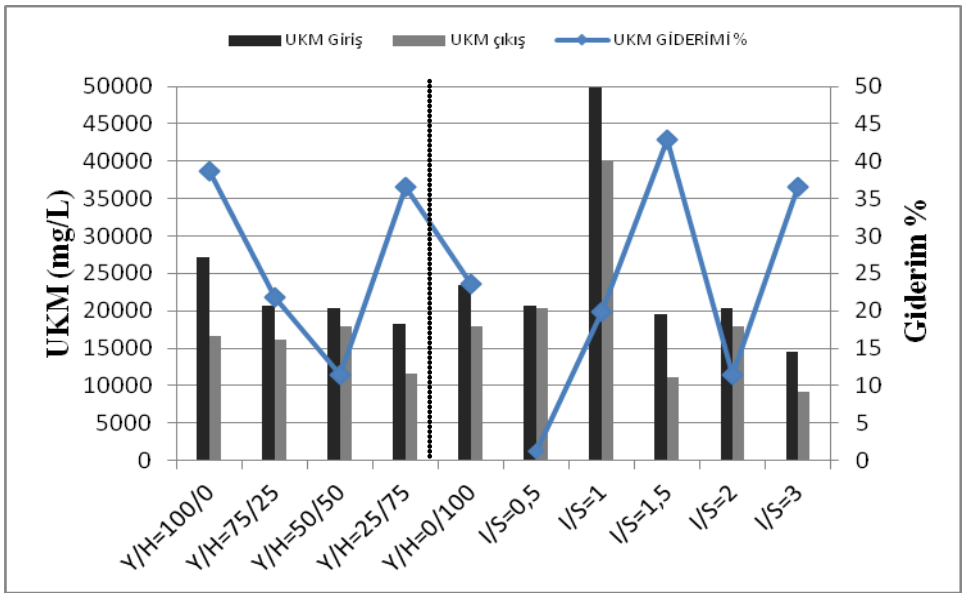
Şekil 4.49 : %6 katı madde miktar ile BH70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KM değişimi.



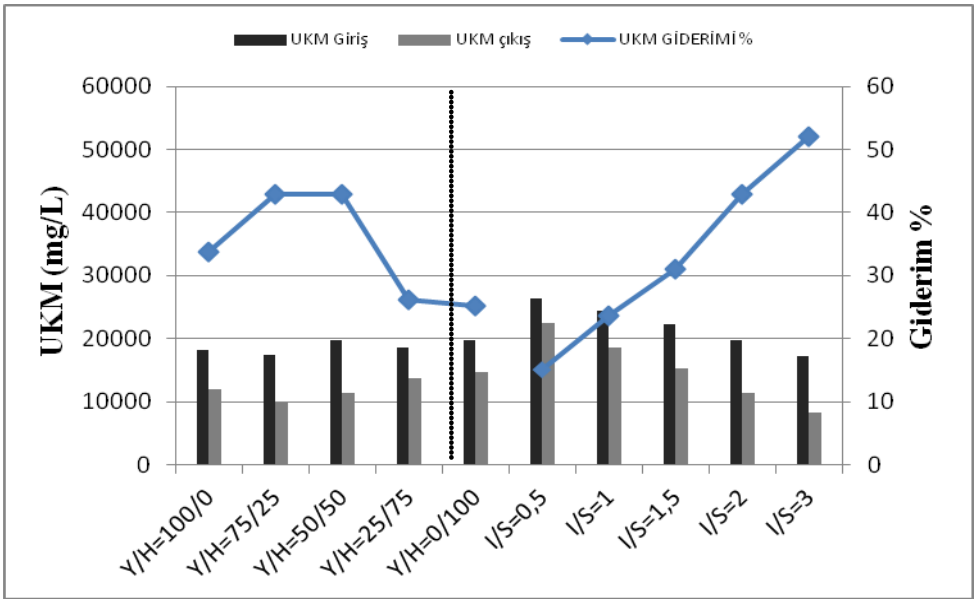
Şekil 4.50 : %6 katı madde miktar ile BHM35 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KM değişimi.

Yapılan çalışmda KM değerindeki değişmenin farklı aşı substrat oranında daha yüksek olduğu gözlenmektedir. KM miktarı BH70 reaktöründe en yüksek I/S oranı 1, yemekhane hayvan oranının 50:50 çalışmasında olduğu gözlenmektedir. KM giderim yüzdesi ise en yüksek aşı/substrat oranı 1, yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 iken olduğu gözlenmektedir. En düşük KM miktarı ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir. KM giderim yüzdesi

en düşük olan çalışma ise aşı/substrat oranı 2, yemekhane-hayvan oranı 100:0 olduğunda gözlenmiştir. BHM35 reaktöründe ise KM miktarı birbirine yakın değerler olduğu gözlenip en yüksek değerine aşı/substrat oranı 1, yemekhane-hayvan oranını 50:50 olduğu çalışmada gözlenmiştir.En düşük değeri ise aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğu çalışmadır. En yüksek KM giderim yüzdesi aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğu çalışmadır. En düşük KM giderim yüzdesi ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan oranı 50:50 olduğu çalışmadır.



Şekil 4.51 : %6 katı madde miktar ile BH70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı UKM değişimi.



Şekil 4.52 : %6 katı madde miktar ile BHM35 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı UKM değişimi.

UKM değerindeki değişme farklı aşı substrat oranında daha yüksek olduğu gözlenmektedir.

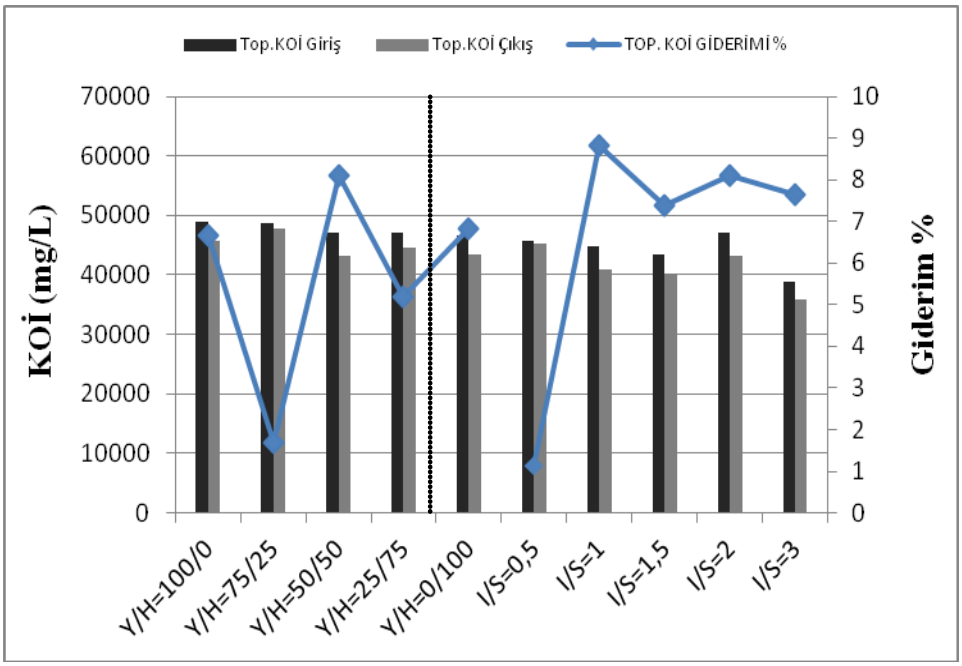
UKM miktarı BH70 reaktöründe en yüksek I/S oranı 1, yemekhane hayvan oranının 50:50 çalışmasında olduğu gözlenmektedir. UKM giderim yüzdesi ise en yüksek aşı/substrat oranı 3:2, yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 iken olduğu gözlenmektedir.

En düşük UKM miktarı ise aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir. UKM giderim yüzdesi en düşük olan çalışma ise aşı/substrat oranı 3:2, yemekhane-hayvan oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir.

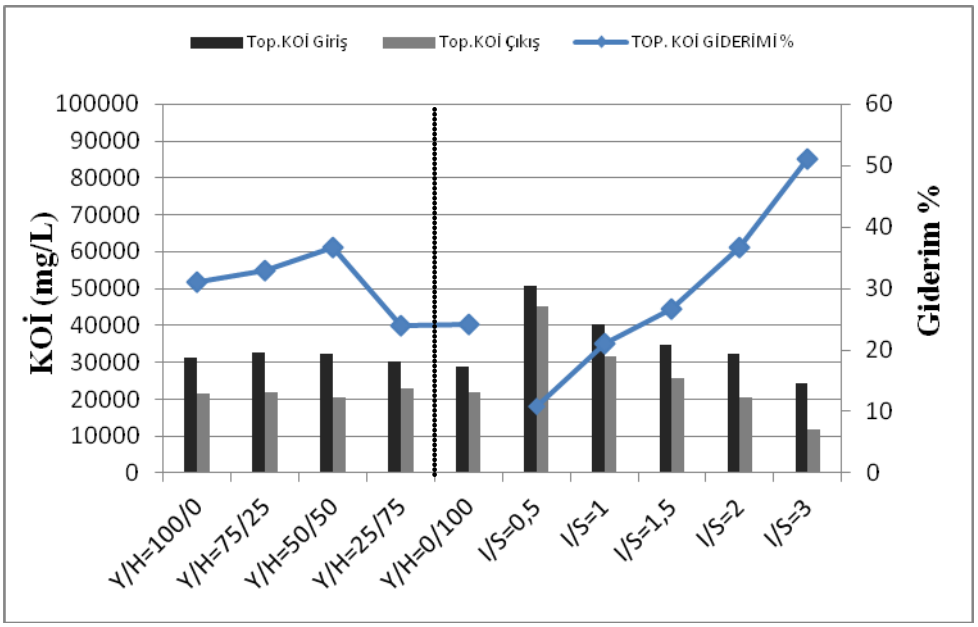
BHM35 reaktöründe ise UKM miktarı birbirine yakın değerler olduğu gözlenip en yüksek değerine aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan oranını 50:50 olduğu çalışmada gözlenmiştir.En düşük değeri ise aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğu çalışmadır.

En yüksek UKM giderim yüzdesi aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğu çalışmadır.

En düşük UKM giderim yüzdesi ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan oranı 50:50 olduğu çalışmadır.



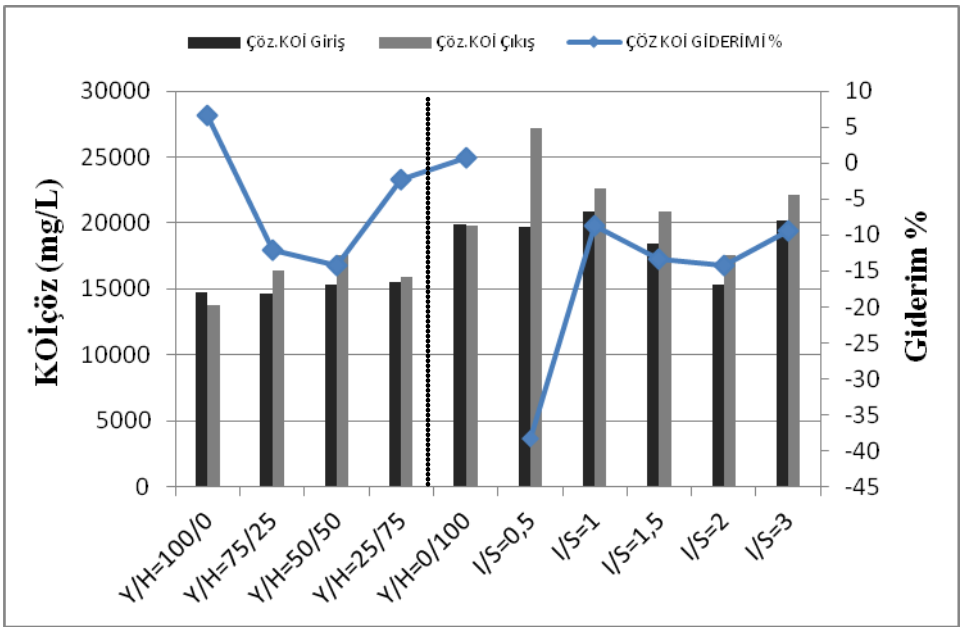
Şekil 4.53 : %6 katı madde miktar ile BH70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KOİ değişimi.



Şekil 4.54: %6 katı madde miktar ile BHM35 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KOİ değişimi.

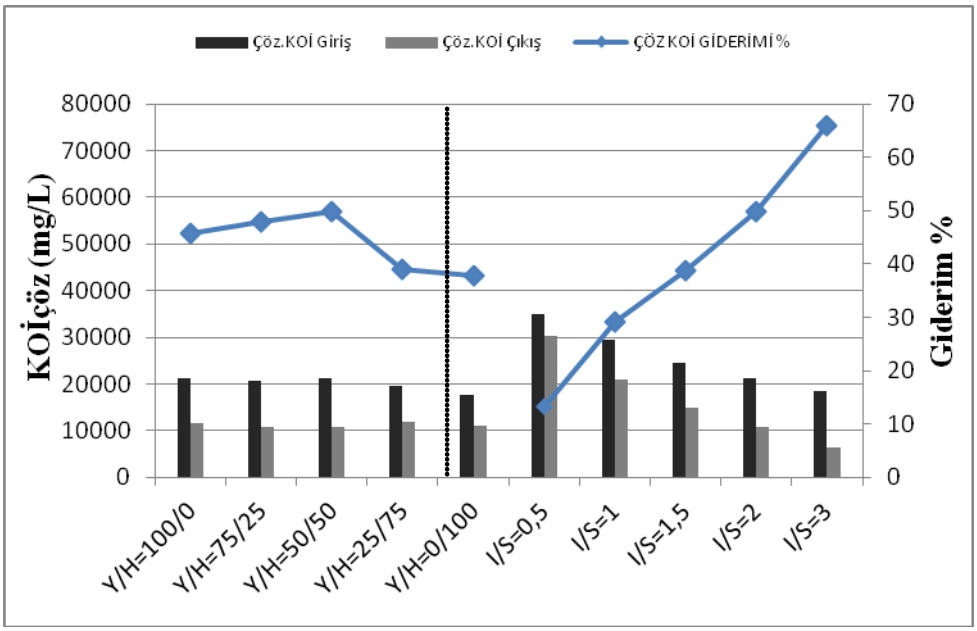
Yapılan çalışmda KOİ değerlerindeki değişmenin farklı aşı substrat oranında daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Özellikle bu değişimler aşı/substrat oranının 1:2 olduğu çalışmada belirginlik kazanmıştır. Aşı/substrat oranının 2 olarak yapılan çalışmalarda KOİ giriş ve çıkış değerlerinde çok fazla fark olmadığı gözlenmiştir. BH70 reaktöründe ise KOİ giderim verimlerinde BHM35 reaktörüne oranla daha düşük kaldığı gözlenmektedir. Ayrıca KOİ giriş ve çıkış değerleri arasındaki fark çok düşük olup, giderim veriminin az oluşu buna bağlanmaktadır.

KOİ miktarı BHM70 reaktöründe en yüksek I/S oranı 2, yemekhane hayvan oranının 50:50 çalışmasında olduğu gözlenmektedir. KOİ giderim yüzdesi ise en yüksek aşı/substrat oranı 1, yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 iken olduğu gözlenmektedir. En düşük KOİ miktarı ise aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir. KOİ giderim yüzdesi en düşük olan çalışma ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir. BHM35 reaktöründe ise KOİ miktarı birbirine yakın değerler olduğu gözlenip en yüksek değerine aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan oranının 50:50 olduğu çalışmada gözlenmiştir.En düşük değeri ise aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğu çalışmadır. En yüksek KOİ giderim yüzdesi aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğu çalışmadır. En düşük KOİ giderim yüzdesi ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan oranı 50:50 olduğu çalışmadır.



Şekil 4.55 : %6 katı madde miktar ile BH70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi.

$KOİ_{çöz}$ giderim değerlerindeki değişmenin, KOİ giderim değerlerine bağlı olarak düşük olduğu gözlenmektedir. $KOİ_{çöz}$ değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.56: %6 katı madde miktar ile BHM35 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi.

BHM35 reaktörü için $KOİ_{çöz}$ giderim değerlerindeki değişmenin, KOİ giderim değerlerine bağlı olarak düşük olduğu gözlenmektedir. $KOİ_{çöz}$ değerlerinin sabit aşı/substrat oranında yapılan çalışmada birbirine yakın olduğu gözlenmektedir.

$KOİ_{çöz}$ miktarı BH70 reaktöründe en yüksek I/S oranı 3, yemekhane hayvan oranının 50:50 çalışmasında olduğu gözlenmektedir. $KOİ_{çöz}$ giderim yüzdesi ise en yüksek aşı/substrat oranı 2, yemekhane-hayvan atığı oranının 100:50 iken olduğu gözlenmektedir. En düşük $KOİ_{çöz}$ miktarı ise aşı/substrat oranı 2, yemekhane-hayvan atığı oranı 100:50 olduğunda gözlenmiştir. $KOİ_{çöz}$ giderim yüzdesi en düşük olan çalışma ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir. BHM35 reaktöründe ise $KOİ_{çöz}$ miktarı birbirine yakın değerler olduğu gözlenip en yüksek değerine aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan oranını 50:50 olduğu çalışmada gözlenmiştir.En düşük değeri ise aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğu çalışmadır. En yüksek $KOİ_{çöz}$ giderim yüzdesi aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğu çalışmadır. En düşük $KOİ_{çöz}$ giderim yüzdesi ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan oranı 50:50 olduğu çalışmadır. Bu çalışmada BH70 ve BHM35 reaktörleri için UYA analizleri yapılmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.5'de verilmektedir.

Çizelge 4.5:BH70 reaktörü UYA analizi giriş değerleri.

Giriş Topl	**Asetik Asit**	**Propiyonik Asit**	**İzobütirik Asit**	**Bütirik Asit**	**Izovalerik Asit**
2346	2089	256	0	0	0
7656	5426	805	183	1015	225
5235	3448	722	189	693	181
5660	3523	866	207	879	183
5737	3415	893	213	995	219
6050	3650	962	222	1035	179
6056	3550	900	197	1177	229
5027	2899	757	0	1201	169
6287	3696	895	0	1477	218

Çizelge 4.6: BHM35 reaktörü UYA analizi giriş değerleri.

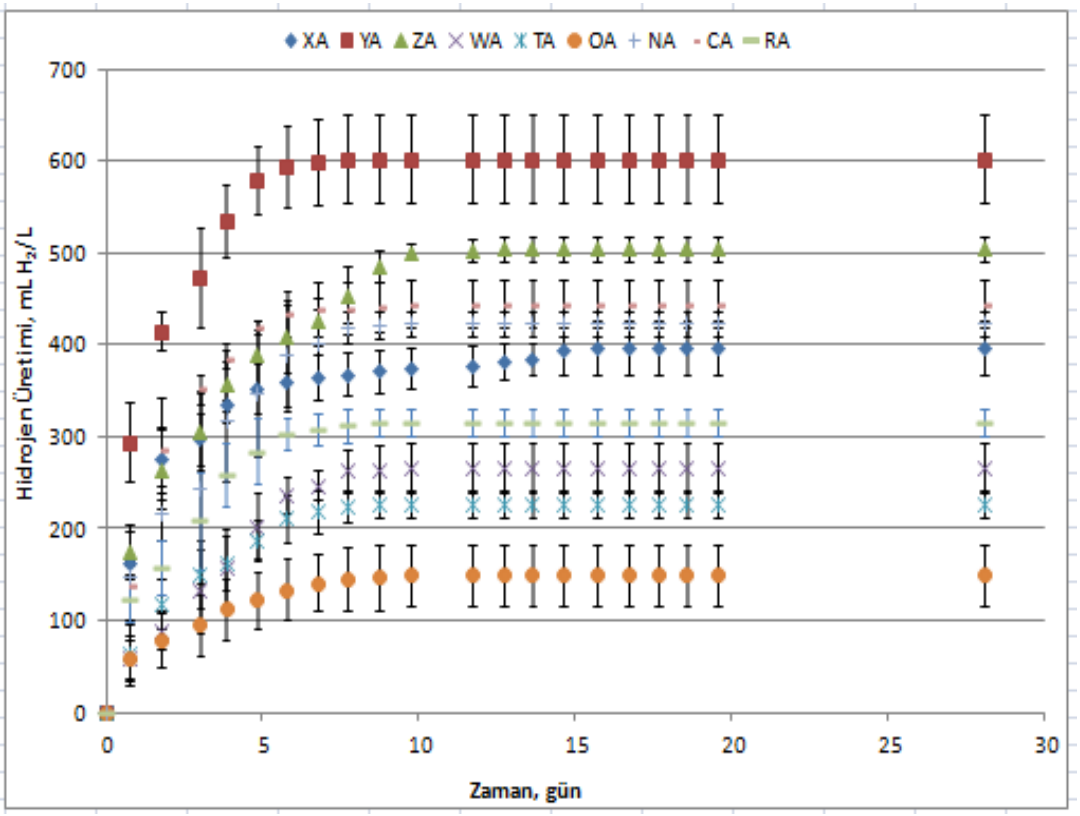
Giriş Topl	**Asetik Asit**	**Propiyonik Asit**	**İzobütirik Asit**	**Bütirik Asit**	**Izovalerik Asit**
697	697	0	0	0	0
1701	1213	259	0	227	0
2567	1687	462	0	418	0
5394	3285	875	217	1014	0
3236	1951	616	0	669	0
2799	1815	259	0	227	0
3476	2288	640	546	0	0
4613	3259	659	0	694	0
5576	4356	785	0	435	0

Çizelge 4.7: BH70 reaktörü UYA analizi çıkış değerleri.

Topl.Ort.	Std.Spm	Asetik Ort.	Std.Spm	Propiyonik Ort.	Std.Spm	Izobütirik Ort.	Std.Spm	Bütirik Ort.	Std.Spm	Isovalerik Ort.	Std.Spm
6885	2713	4219	1646	295	91	27	46	131	10	58	6
8233	4369	4505	2371	478	61	101	13	365	120	112	33
8133	3467	4245	132	799	77	169	15	695	76	157	14
10405	5143	5074	634	1041	116	237	43	1054	152	215	63
12487	5072	6194	272	1269	121	331	26	1180	86	354	38
10809	8118	5460	2421	875	29	170	50	852	10	162	40
7873	3172	3822	463	820	74	178	20	832	102	118	45
8096	4083	3762	509	856	48	161	9	1008	216	121	17
7446	3334	3223	228	814	60	148	8	1186	164	132	21

Çizelge 4.8: BHM35 reaktörü UYA analizi çıkış değerleri.

Topl.Ort	Std.Spm	Asetik Asit	Std.Spm	Prop.Asit	Std.Spm	İzobütirik Asit	Std.Spm	Bütirik Asit	Std.Spm	İzovalerik asit	Std.Spm
72	31	46	5	0	0	0	0	0	0	0	0
76	59	49	33	0	0	0	0	0	0	0	0
23	15	15	3	0	0	0	0	0	0	0	0
102	24	53	46	0	0	0	0	0	0	0	0
57	16	31	22	0	0	0	0	0	0	0	0
14773	9922	5056	1050	3172	0	386	51	1522	1620	239	207
17794	10957	6289	1010	3456	472	438	96	847	257	334	27
15043	6674	6018	1056	3215	868	404	109	749	218	445	55
77	62	64	23	0	0	0	0	0	0	0	0



Şekil 4.57: BH70 aşısı için farklı substrat ve farklı aşı/substrat oranlarında hidrojen gazı üretimleri.

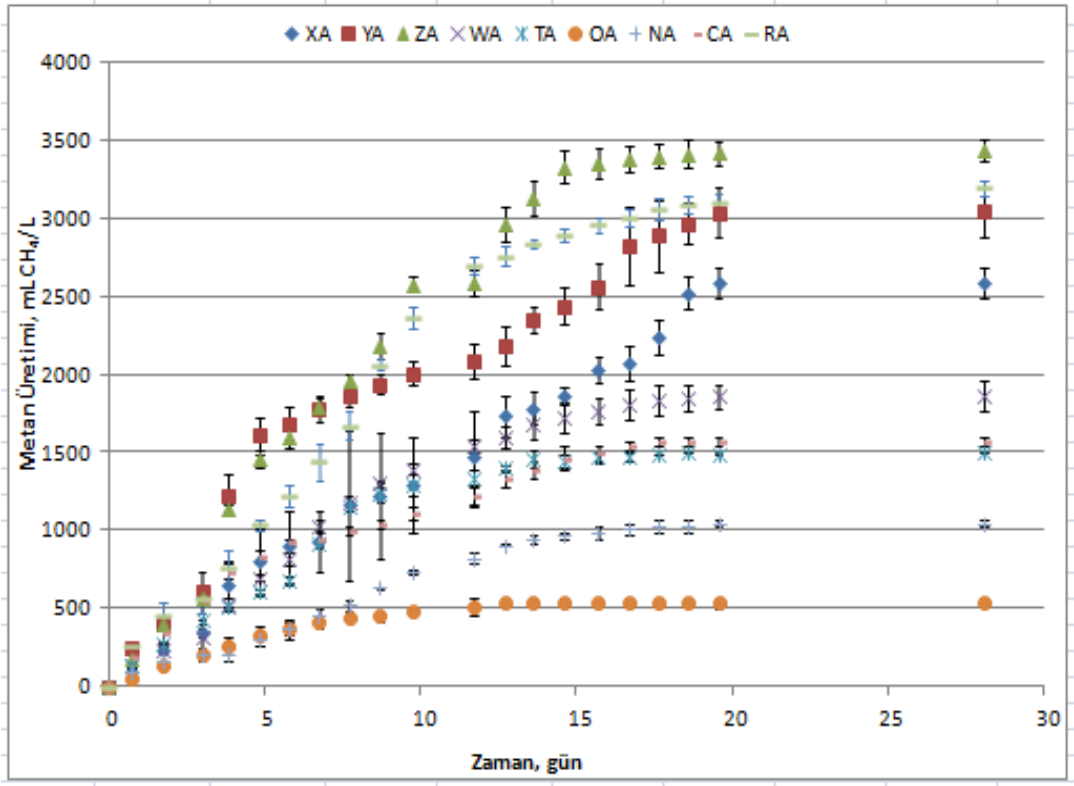
Yapılan farklı aşı /substrat ve farklı büyükbaş hayvan atığı- yemekhane atığı oranlarında yapılan çalışma ile Şekil 4.56 elde edilmiştir. Şekilde ifade edilen XA, YA, ZA, WA, TA, aşı/substrat oranı 2 iken, yemekhane-hayvan atıkları oranları sırasıyla XA 100:0, YA için 75:25, ZA için 50:50, WA için 25:75, TA için 0:100 olarak çalışılmıştır.

OA, NA, CA, RA ifadeleri ise yemekhane-hayvan atıkları oranı 50:50 iken, aşı/substrat oranları ise OA için 1:2, NA için 1, CA için 3:2, RA için 3 olarak çalışıldığını ifade etmektedir. Şekil 4.57 incelendiğinde en yüksek hidrojen gazı üretimi YA çalışmasında elde edilmiştir. Bu veriye dayanarak aşı/substrat oranı 2 iken, yemekhane-hayvan atığı oranının 75:25 olduğunda en yüksek hidrojen gazı üretim performansının elde edildiği söylenmektedir. En düşük hidrojen gazı üretimi ise OA çalışmasında aşı/substrat oranı 1:2 iken yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 olduğu söylenmektedir. Şekil 4.56'ya ait eklenen UKM başına üretilen hidrojen gazı üretim miktarı ve standart sapma değerleri Çizelge 4.5'de verilmektedir.

Çizelge 4.9: BH70 reaktöründe üretilen H_2 miktarı.

Sembol	mL H2/UKMeklenen	Standart Sapma
X	49,4	3,6
Y	88,1	5,0
Z	74,6	2,1
W	39,5	4,0
T	29,0	1,9
O	10,9	2,4
N	37,1	1,2
C	56,8	3,3
R	87,2	4,2

BHM35 reaktörüne ait yapılan şişe çalışmasında elde edilen gaz miktarları aşağıda verilmektedir.



Şekil 4.58: BHM35 aşısı için farklı substrat ve farklı aşı/substrat oranlarında hidrojen gazı üretimleri.

Yapılan farklı aşı /substrat ve farklı büyükbaş hayvan atığı- yemekhane atığı oranlarında yapılan çalışma ile Şekil 4.57 elde edilmiştir. Şekilde ifade edilen XA, YA, ZA, WA, TA, aşı/substrat oranı 2 iken, yemekhane-hayvan atıkları oranları sırasıyla XA 100:0, YA için 75:25, ZA için 50:50, WA için 25:75, TA için 0:100

olarak çalışılmıştır. OA, NA, CA, RA ifadeleri ise yemekhane-hayvan atıkları oranı 50:50 iken, aşı/substrat oranları ise OA için 1:2, NA için 1, CA için 3:2, RA için 3 olarak çalışıldığını ifade etmektedir.

Şekil 4.58 incelendiğinde en yüksek hidrojen gazı üretimi ZA çalışmasında elde edilmiştir.

Bu veriye dayanarak aşı/substrat oranı 2 iken, yemekhane-hayvan atığı oranının 75:25 olduğunda en yüksek metan gazı üretim performansının elde edildiği söylenmektedir.

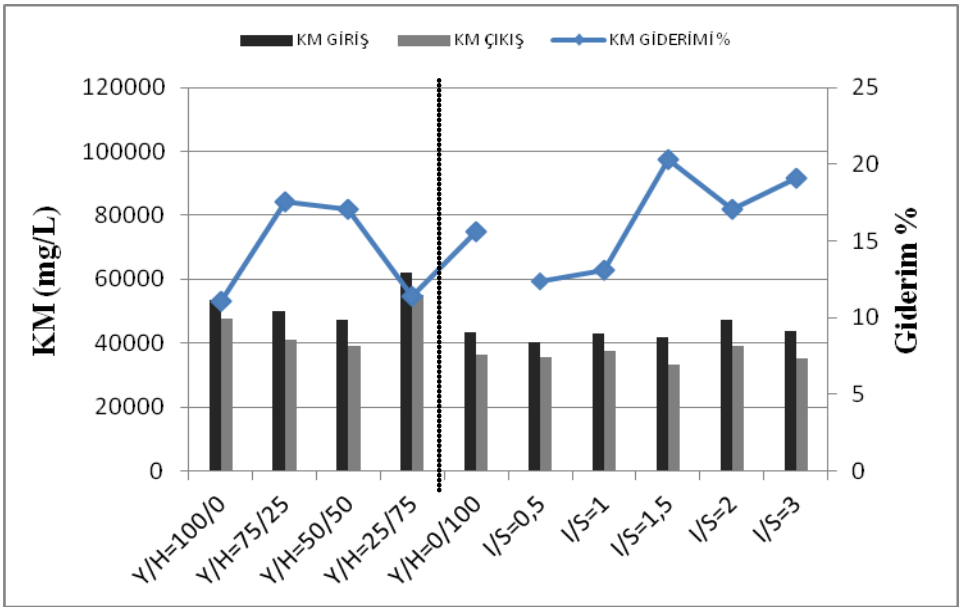
En düşük hidrojen gazı üretimi ise OA çalışmasında aşı/substrat oranı 1:2 iken yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 olduğu söylenmektedir.

Şekil 4.57'ye ait eklenen UKM başına üretilen metan gazı üretim miktarı, giderilen KOİ başına üretilen metan gazı üretim miktarı ve standart sapma değerleri Çizelge 4.6'de verilmektedir.

Çizelge 4.10: BHM35 reaktöründe üretilen CH_4 miktarı.

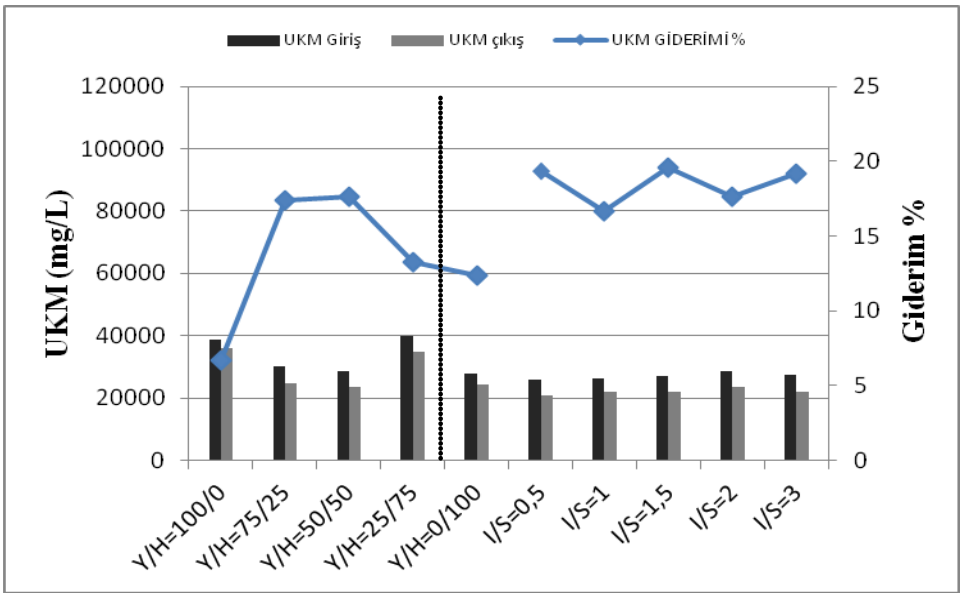
Sembol	mL $CH_4/KOİ_{giderilen}$	Standart Sapma	mL $CH_4/UKM_{eklenen}$	Standart Sapma
X	267,0	10,1	426,4	16,1
Y	284,0	14,7	524,6	27,1
Z	287,9	5,7	519,8	10,4
W	258,8	14,1	299,4	16,4
T	216,0	0,4	227,6	0,4
O	96,7	5,6	30,3	1,7
N	123,6	2,7	85,5	1,8
C	169,2	3,2	176,6	3,3
R	257,7	4,2	742,8	12,0

4.4.1.2 Tek kademeli işletilen aşırı termofilik biyometan sisteminin incelenmesi



Şekil 4.59: %6 katı madde miktar ile BM70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KM değişimi.

KM miktarı BM70 reaktöründe en yüksek I/S oranı 2, yemekhane hayvan oranının 75:25 çalışmasında olduğu gözlenmektedir. KM giderim yüzdesi ise en yüksek aşı/substrat oranı 3:2, yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 iken olduğu gözlenmektedir. En düşük KM miktarı ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir. KM giderim yüzdesi en düşük olan çalışma ise aşı/substrat oranı 2, yemekhane-hayvan oranı 100:0 olduğunda gözlenmiştir.

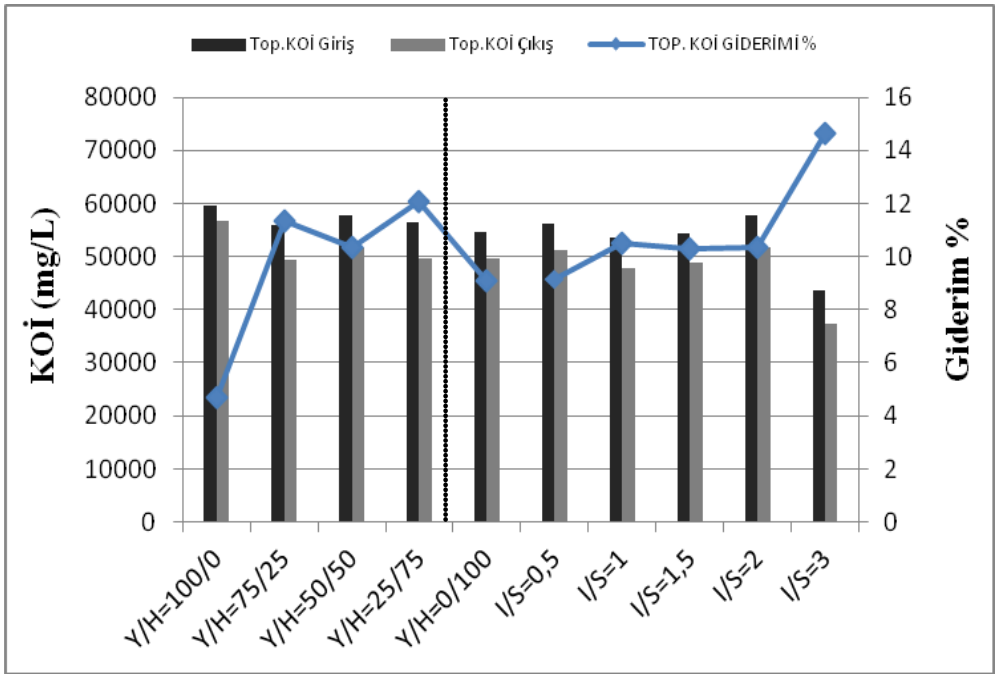


Şekil 4.60 : %6 katı madde miktar ile BM70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı UKM değişimi.

UKM miktarı BM70 reaktöründe en yüksek I/S oranı 2, yemekhane hayvan oranının 75:25 çalışmasında olduğu gözlenmektedir. UKM giderim yüzdesi ise en yüksek aşı/substrat oranı 3:2, yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 iken olduğu gözlenmektedir.

En düşük UKM miktarı ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir.

KM giderim yüzdesi en düşük olan çalışma ise aşı/substrat oranı 2, yemekhane-hayvan oranı 100:0 olduğunda gözlenmiştir.



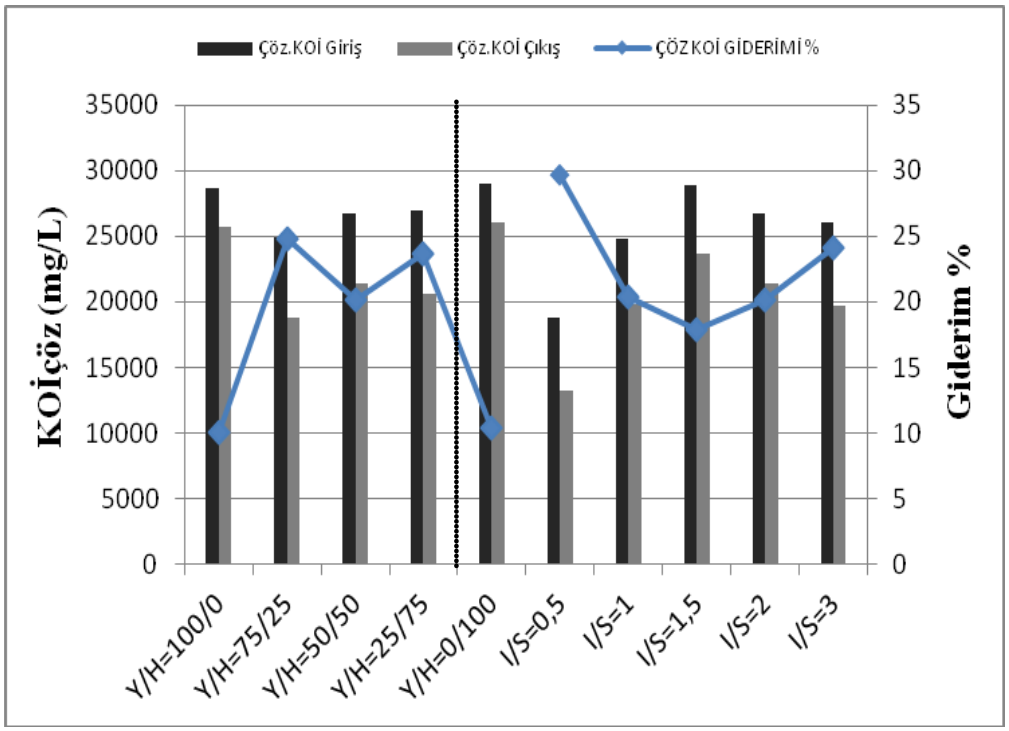
Şekil 4.61: %6 katı madde miktar ile BM70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı KOİ değişimi.

KOİ miktarı BM70 reaktöründe en yüksek I/S oranı 2, yemekhane hayvan oranının 1:0 çalışmasında olduğu gözlenmektedir. KOİ giderim yüzdesi ise en yüksek aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 iken olduğu gözlenmektedir.

En düşük KOİ miktarı ise aşı/substrat oranı 3, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir.

KOİ giderim yüzdesi en düşük olan çalışma ise aşı/substrat oranı 2, yemekhane-hayvan oranı 100:0 olduğunda gözlenmiştir.

KOİ giderim değerlerindeki değişme birbirne çok yakın olarak değişkenlik göstermektedir.



Şekil 4.62: %6 katı madde miktar ile BM70 şişesinde yapılan çalışmalarda zamana bağlı $KOİ_{çöz}$ değişimi.

$KOİ_{çöz}$ miktarı BM70 reaktöründe en yüksek I/S oranı 3:2, yemekhane hayvan oranının 50:50 çalışmasında olduğu gözlenmektedir.

$KOİ_{çöz}$ giderim yüzdesi ise en yüksek aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 iken olduğu gözlenmektedir.

En düşük $KOİ_{çöz}$ miktarı ise aşı/substrat oranı 1:2, yemekhane-hayvan atığı oranı 50:50 olduğunda gözlenmiştir. $KOİ_{çöz}$ giderim yüzdesi en düşük olan çalışma ise aşı/substrat oranı 2, yemekhane-hayvan oranı 100:0 olduğunda gözlenmiştir.

$KOİ_{çöz}$ giderim değerlerindeki değişme birbirne çok yakın olarak değişkenlik göstermektedir.

Yapılan bu çalışmalara paralel olarak, belirli zaman aralıklarında şişelerdeki gaz basınçları ölçülmüştür.

Elde edilen bu gaz basınç değerleri grafiklere yerleştirilerek aşağıdaki şekiller elde edilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada UYA analizleri yapılmış ve elde edilen veriler aşağıda verilmiştir.

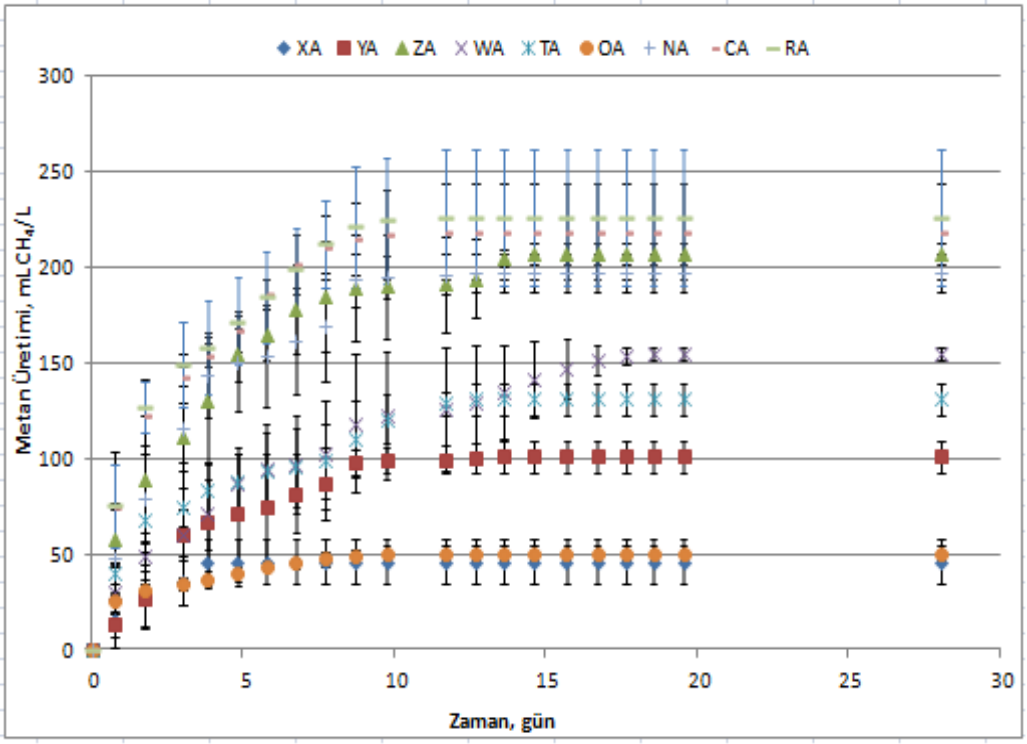
Çizelge 4.11: BM70 reaktörü UYA analizi giriş değerleri.

Giriş Topl	Asetik Asit	Propiyonik Asit	İzobütirik Asit	Bütirik Asit	Izovalerik Asit
4393	3107	520	0	560	205
6050	3650	962	222	1035	179
5923	3918	648	215	925	216
5631	3631	724	184	898	192
6692	4484	880	258	1068	0
9922	6536	1330	284	1506	265
5958	4770	628	0	559	0
4008	3596	0	201	0	210
10155	7301	1187	289	927	450

Çizelge 4.12: BM70 reaktörü UYA analizi çıkış değerleri.

Topl.Ort	Std.Spm	Asetik Asit	Std.Spm	Prop.Asit	Std.Spm	İzobütirik Asit	Std.Spm	Bütirik Asit	Std.Spm	İzovalerik asit	Std.Spm
35196	25240	13336	1461	1964	1312	1882	2121	3856	2803	4580	5569
24663	14695	11883	3868	2278	741	629	426	1529	116	1188	1058
19609	12150	9311	2040	1842	617	572	225	1501	348	898	532
21210	8419	10065	889	2117	49	711	67	1814	703	1031	175
17025	9224	8118	1316	1738	317	565	115	1345	359	634	234
13320	6351	7596	49	1127	183	266	47	753	170	182	157
15976	7257	8675	649	1527	114	426	59	701	120	556	162
14684	6232	7764	267	1535	232	449	47	642	249	565	118
13760	6773	7193	920	1368	143	418	79	584	252	544	6

BM70 reaktörüne ait yapılan şişe çalışmasında elde edilen gaz miktarları aşağıda verilmektedir.



Şekil 4.63: BM70 aşısı için farklı substrat ve farklı aşı/substrat oranlarında hidrojen gazı üretimleri.

Yapılan farklı aşı /substrat ve farklı büyükbaş hayvan atığı- yemekhane atığı oranlarında yapılan çalışma ile Şekil 4.62 elde edilmiştir. Şekilde ifade edilen XA, YA, ZA, WA, TA, aşı/substrat oranı 2 iken, yemekhane-hayvan atıkları oranları sırasıyla XA 100:0, YA için 75:25, ZA için 50:50, WA için 25:75, TA için 0:100 olarak çalışılmıştır. OA, NA, CA, RA ifadeleri ise yemekhane-hayvan atıkları oranı 50:50 iken, aşı/substrat oranları ise OA için 1:2, NA için 1, CA için 3:2, RA için 3 olarak çalışıldığını ifade etmektedir. Şekil 4.63 incelendiğinde en yüksek metan gazı üretimi RA çalışmasında elde edilmiştir. Bu veriye dayanarak aşı/substrat oranı 3 iken, yemekhane-hayvan atığı oranının 50:50 olduğunda en yüksek hidrojen gazı üretim performansının elde edildiği söylenmektedir. En düşük metan gazı üretimi ise XA çalışmasında aşı/substrat oranı 2 iken yemekhane-hayvan atığı oranının 100:0 olduğu söylenmektedir.

Şekil 4.62'ye ait eklenen UKM başına üretilen hidrojen gazı üretim miktarı ve standart sapma değerleri Çizelge 4.8'de verilmektedir.

Çizelge 4.13 BM70 reaktöründe üretilen CH_4 miktarı.

Sembol	mL CH_4/$KOİ_{giderilen}$	Standart Sapma	mL CH_4/$UKM_{eklenen}$	Standart Sapma
X	16,5	4,2	3,6	0,9
Y	15,9	1,3	10,1	0,8
Z	34,5	0,9	21,8	0,6
W	22,7	0,5	11,6	0,2
T	26,4	1,7	14,2	0,9
O	9,8	0,8	2,9	0,2
N	35,0	1,7	14,9	0,7
C	39,0	4,5	20,1	2,3
R	35,4	5,6	33,1	5,2

5.SONUÇLAR

Organik atıkların birlikte arıtılması yoluyla anaerobik olarak arıtılması mümkün olmayan ya da zor olan atıkların arıtımı gerçekleşmekte ve enerji üretim miktarı da arttırılabilmektedir. Birlikte arıtımın esas amacı, farklı substratlar içerisindeki bileşenlerin, karışımda dengelenmesini sağlamaktır. Bu bakış açısıyla tek başına arıtılması zor veya verimi düşük olan organik atık değerli bir kaynak özelliği kazanmaktadır.

Hayvan atıkları ile yemek atıkları üretim miktarları açısından oldukça yüksek olup ayrıca biyogaz üretimi açısından bir potansiyele sahiptir. Bu kapsamda yemek ve hayvan atıkların birlikte değerlendirilmesi oldukca caziptir. Tek kademeli sistemlerde tüm reaksiyonlar tek bir tankta gerçekleşirken iki kademeli sistemlerde iki tankta gerçekleşmektedir. İki kademeli sistemler organik yüklemedeki değişkenliklere karşı daha iyi dengeleme ve koruma sağlamaktadır.

Aşırı termofilik sıcaklıkta (70℃) hidrojen üretimi, mezofilik ve termofilik şartlarla kıyaslandığında çok sayıda üstünlük sağlamaktadır. Termodinamik üstünlük yanında, hidrojen üretim verimi daha fazladır, patojenler yüksek oranda giderilir, metanojenler ve solvent üreten bakteriler ile bulaşma, kirlenme riskini en aza indirir. Reaktörlerden işletme süreleri boyunca çeşitli numuneler alınarak analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonuçlarına dayanarak iki kademeli olarak işletilen BH70+BHM35 reaktörleri ve tek kademeli olarak işletilen BM70 reaktörü ile karşılaştırmalı önemli sonuçlara ulaşılmıştır. BH70 reaktörü için en yüksek UKM giderim verimi %2, KOİ giderim verimi %4 değerleri elde edilmiştir. BHM35 reaktöründe ise en yüksek metan gazı üretimi 2397 mL CH_4/gün, UKM giderim verimi %20, KOİ giderim verimi %20 değerleri elde edilmiştir. BH70 reaktöründe gözlendiği gibi BHM35 reaktörününde de en yüksek değerler 3. dönemde elde edilmiştir. BM70 reaktöründe ise en yüksek metan gazı üretimi 811 mL CH_4/gün, UKM giderim verimi %13, KOİ giderim verimi %14 değerleri elde edilmiştir.

Bu değerler, organik atığın metan üretim potansiyeli açısından oldukça düşüktür. Literatürde yapılan çalışmalar ile reaktör işletme parametreleri reaktörlerden istenilen verim alınamamıştır. Farklı Aşı/Substrat ve farklıyemekhane/hayvan atıkları oranları ile kesikli çalışmalar yapılarak en uygun işletme koşulları belirlenmiştir. Çalışmanın ilk kısmında Aşı/Substrat oranları 1:2, 1, 3:2, 2, 3 olarak hayvan ve yemekhane atığı oranları ise 1:1 olarak alınmıştır. Yine aynı çalışmanın diğer kısmında ise aşı/substrat oranı sabit tutulmuş, hayvan ve yemekhane oranı ise 100:100, 75:25, 50:50, 25:100, 0:100 olarak alınmıştır. 2. Kademe için ise farklı aşı/substrat, oranı için en yüksek verim aşı/substrat oranı 3, yemekhane ve hayvan atığı oranı 1:1 iken elde edilmiştir. BH70 ve BHM35 reaktöründe yüksek verimler elde edilirken, BM70 reaktöründe elde edilen verim ve metan gazı üretim seviyesi istenilen seviyeye ulaşmamıştır. Bu noktada iki kademeli olarak işletilen sistemin, tek kademeli olarak işletilen sisteme kıyasla daha iyi ve yüksek verim alındığı söylenebilmektedir. İki ademeli sistemde eklenen ton UKM başına 88 m^3 H_2 ve 520 m^3 CH_4 elde etmek mümkün görünmektedir.

İki kademeli sistem ile anaerobik arıtma sürecinin farklı adımlarında gerçekleşen reaksiyonlar, ayrı ayrı reaktörlerde optimize edilmiştir, böylece reaksiyon hızı ve biyogaz miktarı arttırılabilir. Ayrıca iki kademeli sistem ile yüksek oranda metan üretiminin yanında günümüzde temiz enerji kaynaklarından biri olarak adlandırılan hidrojen de üretilerek önemli bir üstünlük sağlanmaktadır.

KAYNAKLAR

Sezer, B. (2010). Organik katı atıkların aktif çamur ile birlikte iki kademeli anaerobik arıtımının incelenmesi,Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Arıkan, B., (2008). Organik evsel katı atıklardan anaerobik ortamda biyogaz üretiminin verimliliğinin araştırılması,Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.

Aydın, A.F., (2002). Afyon alkoloid endüstrisi atıksularının anaerobik arıtılabilirliği, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Universitesi, İstanbul, Türkiye.

Christ, O., Wilderer, P.A., Angerhöfer, R.R., Faulstich, M., (2000). Mathematical modeling of the hydrolysis of anaerobic processes. Water Science and Technology, **41(3)**, 61–65.

Çoşkun, T., Manav, N., Debik, E., Binici, M.S., Tosun, C., Mehmetli, E., Baban, A.,(2010). Anaerobic digestion of cattle manure,Samsun Üniversitesi, Samsun, Türkiye.

Demir A., Kanat G., Debik E., (2000). "Atıksu arıtımında fiziksel kimyasal ve Biyolojik metodlar", Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Ekinci, M.S., (2007). Tavuk gübresinden biyogaz üretimi için en uygun koşulların belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

Garcia, J.L. and Schalk, P., (1999). Biopercolat-procedure, *II Int. Symp. Anaerobic Dig. Solid Waste*, Barcelona, Haziran 15-17, 2, 298-301.

Gavala, H.N., Angelidaki, I., Ahring, B.K., (2003). Kinetics and modeling of anaerobic digestion process, Adv Biochemical Eng/Biotechnol, **81**, 57-93.

Ghosh, S. and Pohland, F.G., (1974). Kinetics of substrate assimilation and product formation in anaerobic digestion, *Journal WPCF*, **46**, 748-759.

Ghosh, S., Henry, M.P., Sajjad, A., Mensinger, M.C. ve Arora, J.L., (1999). Pilot-scale gasification of msw by high-rate and two-phase anaerobic digestion, *II Int. Symp. Anaerobic Dig. Solid Waste*, **1**, 83-90.

Hartman, H., Ahring, B.K., (2005). Strategies for the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste, *In Proceedings of 4th International Symposium Anaerobic Digestion of Solid Waste*, Copenhagen, Denmark, **45**, 34 – 51.

Hwu, C.S., Lettinga, G., (1997). Acute Toxicity of Oleate to Acetate-Utilizing

Methanogens in Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Sludges. Enzyme and Microbial Technology, **21**, 297–301.

Jetten, M.S.M., Horn, S.J., Van Loosdrecht, M.C.M., (1997). Towards a more sustainable municipalwastewater treatment system, *Wat. Sci. Tech.,* **35 (9)**, 171–180.

Karri, S., Reyes, S.A., Fıeld, J.A., (2006). Toxicity of Copper to Acetoclastic and Hydrogenotrophic Activities of Methanogens and Sulfate Reducers in Anaerobic Sludge. Chemosphere, **62**, 121–127.

Kuang, Y., (2002). Enhancing Anaerobic Degredation of Lipids in Wastewater by Addition of Co-Substrate. PhD Dissertation, Murdoch University, Murdoch, Australia.

Kübler, H., Wild, M., (1992). The BTA-Process high rate biomethanisation of biogenous solid wastes, Proc. *Int. Symp. On Anaerobic Digestion of Solid Waste*, 14-17 April, 535-538, Venice, İtaly.

Lettinga, G., Van Velsen, A.F.M., De Zeewe, W.J. and Hobma, S.W., (1979). The application of anaerobic digestion to industrial pollution treatment,*Anaerobic Digestion, D.A. Stafford et al. (eds), Applied Science Publishe*r, 167–186, London, England.

Lettinga, G., (2005). The anaerobic treatment approach towards a more sustainable and robust environmental protection, *Wat. Sci. Tech.,* **52(1–2)**, 1–11.

Liu, T., Ghosh, S., (1997). Phase separation during anaerobic fermentation of solid substrates in an ınnovative plug-flow reactor, *Proc. 8th Int. Conf. on Anaerobic Digestion,* 25-29 May**,** 2, 17-24, Sendai, Japan.

Liu,D.W., Min,B., Angelidaki, I. (2008). Biohydrogen production from household solid waste (HSW) at extreme-thermophilic temperature (70 degree C) - Influence of pH and acetate concentration.*International Journal of Hydrogen Energy*, **33**, 6985-6992.

Mata-Alvarez, J., (2003). Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes, *IWA Publishing*, Department of Chemical Engineering, University of Barcelona.

Metcalf and Eddy,Inc., (2004). Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Eddition, *McGrawhill Inc*., NewYork, USA.

Mıgnone, N.A., (2005). Biological Inhibitıon / Toxicity Control in Municipal Digestion Facilities. Journal Water Pollution Control Federation, **37**, 392–406.

Öztürk, M.,(2005). Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. Çevre ve OrmanBakanlığı Yayınları, Ankara.

Öztürk, İ., (2007). Anaerobik Arıtma ve Uygulamaları, *Su vakfi*, İstanbul.

Öztürk, İ., (1999). Anaerobik Bioteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları. Su Vakfı Yayınları, İstanbul.

Palmowski, L.M., Müller, J.A., (1999). Influence of the size reduction of organic waste on their anaerobic digestion, *Wat. Sci. Tech*., **41 (3)**, 155–162.

Speece, R.E., (1996). Anaerobic Biotechnology for ındustrial wastewaters, Archae Press, USA.

Verma, S., (2002). Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes, Department of Earth & Environmental Engineering, **4**, 56.

Verhaart, M.R.A., Bielen, A.M., Oost, J., Stams, J.M., Kengen, W.M., (2010). Hydrogen production by hyperthermophilic and extremely thermophilic bacteria and archaea: mechanisms for reductant disposal, Environmental technology, **31**, 8-9.

Weiland, P., (1992). One- and two-step anaerobic digestion of solid agroindustrial residues, *Proc. Int. Symp. On Anaerobic Digestion of Solid Waste,* 14-17 May, 193-199, Venice, İtaly.

Xing, Y., Li, Z., Fan, Y., Hou, H., (2009). Biohydrogen production from dairy manures with acidification pretreatment by anaerobic fermentation. Env. Sci. Poll. Res.

Yılmaz, G., İzbul, E., (2010). Productıon of organıc acıds from organıc fractıon of munıcıpal solıd waste**,** Lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

Zeikus, J.G., (1980). Microbial population in digesters, Proc. of First Int. Symp. On Anaerobic Digestion, Applied Science Pub. Ltd.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ali Onur KASARCI

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar, 03/02/1986

Adres: İcadiye Mah. Hacıraif Sok. No:21/18 Üsküdar/İSTANBUL

E-Posta: onurkasarci@gmail.com

Lisans: İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü