

ESKİŞEHİR'DE YER ALAN TARIMA DAYALI SANAYİLERE
AİT YÜKSEK ORGANİK MADDE İÇERİKLİ ATIK SULARIN
ANAEROBİK ARITILABİLİRLİKLERİNİN VE METAN ÜRETİM
POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI

CANSU FİLİK İŞÇEN

DOKTORA TEZİ

Biyoloji Anabilim Dalı

Mayıs 2006

ANAEROBIC TREATABILITY AND METHANE PRODUCTION
POTENTIAL OF HIGH ORGANIC MATERIALS CONTAINING
WASTEWATERS FROM AGRICULTURAL INDUSTRY IN ESKİŞEHİR

CANSU FİLİK İŞÇEN

Ph.D. THESIS

Department of Biology

May 2006

ESKİŞEHİR'DE YER ALAN TARIMA DAYALI SANAYİLERE AİT YÜKSEK
ORGANİK MADDE İÇERİKLİ ATIKSULARIN ANAEROBİK
ARITILABİLİRLİKLERİNİN VE METAN ÜRETİM POTANSİYELLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

CANSU FİLİK İŞÇEN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliđi Uyarınca
Biyoloji Anabilim Dalı
Genel Biyoloji Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç.Dr. Semra İLHAN

Mayıs 2006

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2.GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Endüstriyel ve Tıbbi Mikrobiyolojide Anaerobik Mikrobiyolojinin Önemi	3
2.2. Anaerobluk ve Zorunlu Anaerobik Mikroorganizmaların Tanımı	3
2.3 Anaerobik Fermentasyonların Özellikleri, Avantaj ve Dezavantajları.....	5
2.3.1. Anaerobik fermentasyonların üstünlükleri.....	5
2.3.2. Anaerobik fermentasyonların dezavantajları	7
2.4. Anaerobik Süreçlerin Mikrobiyolojisi ve Biyokimyası.....	8
2.5. Anaerobik Metabolizma	11
2.5.1. Enerji üretimi	11
2.5.1.1. Fermentasyon	12
2.5.1.2. Asetojenesis.....	13
2.5.1.3. Methanojenesis.....	16
2.5.1.4. Metanojenezde Enerji Korunumu ve Sintrofi	20
2.6. Anaerobik Süreçleri Etkileyen Çevresel Faktörler	22
2.6.1. Sıcaklık.....	22
2.6.2. Besin maddeleri.....	23
2.6.3. İnhibisyon ve zehirlilik	24

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (Devam)

2.6.4. pH.....	25
2.6.5. Uçucu Asitler	25
2.7. Anaerobik Arıtımda Kullanılan Sistemler ve Özellikleri	25
2.7.1. Geleneksel sistemler (klasik anaerobik çürütücü)	26
2.7.2. Anaerobik kontak sistemler (anaerobik aktif çamur sistemi)	26
2.7.3. Sabit yataklı filtreler (packed bed filter).....	27
2.7.4. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı (YAAÇY)	27
2.7.5. Anaerobik akışkan yataklı reaktör	28
2.7.6. Ultrafiltrasyonlu anaerobik reaktör (Membran solids seperation).....	29
2.7.7. Genişletilmiş granül çamur yatak reaktör (GGÇY)	29
2.8. Anaerobik Biyoteknolojinin Türkiye'deki Uygulamaları.....	29
2.9. Anaerobik Biyoteknolojinin Dünya'daki Uygulamaları.....	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1. Materyal	32
3.1.1. Atık sular.....	32
3.1.2. Kuruluşlar hakkında elde edilen bilgiler.....	32
3.1.3. İnokulum çeşitleri	35
3.1.3.1. Anaerobik çamur	35
3.1.3.2. Rumen sıvısı.....	36
3.1.3.3. Aktif çamur	36
3.1.3.4. Küfler	36
3.1.4 Besiyerleri ve Kimyasal Maddeler.....	36
3.2. Yöntemler	41
3.2.1. Anaerobik arıtım uygulanacak atık suların seçimi.....	41
3.2.2. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅).....	41
3.2.3. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ).....	41
3.2.4. Katı Maddeler	42
3.2.4.1. Toplam Katı Madde (TKM).....	43

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (Devam)

3.2.4.2. Askıda Katı Madde (AKM).....	43
3.2.4.3. Uçucu Katı Madde (UKM)	43
3.2.5. pH.....	44
3.2.6. Alkalinite.....	44
3.2.7. Uçucu yağ asitleri.....	45
3.2.8. Organik Azot.....	46
3.2.9. Gravimetrik Yöntemle Yağ-Gres Tayini	46
3.2.10. Biyokimyasal Metan Potansiyel (BMP) çalışmaları	47
3.2.11. Yukarı Akışlı Dolgulu Yatak Reaktör (YADYR) çalışmaları	48
3.2.11.1. Reaktörü devreye alma çalışmaları	48
3.2.11.2. Çevresel faktörlerin kontrolü	49
3.2.11.3. Deneysel çalışma planı.....	50
3.2.12. Metan gazının belirlenmesi.....	50
3.2.13. Aerobik arıtım	50
3.2.13.1. Küf kullanılarak yapılan aerobik arıtım	50
3.2.13.2. Aktif çamur kullanılarak yapılan aerobik arıtım	51
3.2.14. İyon ve Metal Analizleri.....	51
4. SONUÇLAR	51
4.1. Fabrikalardan Alınan Atık Suların Özellikleri.....	52
4.2. İnokulumların Özellikleri	53
4.2.1. Anaerobik çamur.....	53
4.2.2. Aktif çamur	53
4.3. Biyokimyasal Metan Potansiyel (BMP) Sonuçları	53
4.4. Yukarı Akışlı Dolgulu Yatak Reaktör [Sabit Yataklı (Packed Bed) Filtreler] .63	
4.4.1. Kek Üretim Fabrikası Atık suyu Arıtım Sonuçları	63
4.4.2. Alkol Damıtma Atık suyu (Şlempe)	71
4.4.2.1. Şlempenin anaerobik arıtımı sırasında iyon giderimi	79
4.4.2.2. Çıkış suyuna uygulanan aerobik arıtım sonuçları	79

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (Devam)

4.4.3. Peynir altı Suyu.....	83
4.4.3.1. Aerobik Artım Sonuçları.....	91
5. TARTIŞMA	92
6. KAYNAKLAR DİZİNİ	105
ÖZGEÇMİŞ.....	112

ÖZET

Çalışmada Porsuk Havzasında yer alan ve yüksek organik madde içerikli atık su üreten tarıma dayalı sanayilerin atık sularının anaerobik arıtılabilirlikleri ve metan üretim potansiyellerinin araştırılması amaçlanmıştır. Biyokimyasal metan potansiyeli (BMP), farklı başlangıç kimyasal oksijen ihtiyacına (KOİ) sahip atık sularla bazal ortamlı ve bazal ortamsız olarak yapılmıştır. Sonuçlar bazal ortam ilavesinin çalışılan atık suların anaerobik arıtımı için önemli olduğunu ortaya çıkarmıştır. BMP sonuçlarına göre kek üretimi, peynir yapımı ve alkol damıtımı atık suyu (şlempe) endüstrilerinden çıkan atık suların anaerobik arıtıma en uygun atık sular olduğu belirlenmiştir. Anaerobik metan üretimi 12000 mg/l başlangıç KOİ değerinde kek üretimi atık suyu için 1062 ml CH₄/g KOİ (12,7 l CH₄/l atık su), 30000 mg/l başlangıç KOİ değerinde peynir altı suyu için 366 ml CH₄/g KOİ (10,98 l CH₄/l atık su), 27000 mg/l başlangıç KOİ değerinde şlempe için 222 ml CH₄/g KOİ (6 l CH₄/l atık su) olarak bulunmuştur.

Bu üç atık suyun, seri bağlı iki reaktörden (R1 ve R2) oluşan yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım çalışmaları yapılmıştır. Kek üretimi atıksuyu ile süren 150 günlük çalışmalar sırasında organik yük 1,3-10,2 g KOİ/(l gün) aralığında ve hidrolik alıkonma süresi ise 120-26 saat arasında değiştirilmiştir. Organik yük 7,5 g KOİ/(l gün) olduğunda 29 saatlik alıkonma süresinde iki reaktörün toplamında %98-99 KOİ giderimi elde edilmiştir.

Şlempe ile yapılan çalışmalar 200 gün sürmüştür ve R1 için organik yük 2,71-5,48 g KOİ/(l gün) aralığında ve R2 için 0,68-1,18 g KOİ/(l gün) aralığında değiştirilmiştir. Organik yük 4,8 g KOİ/(l gün) olduğunda 175 saatlik alıkonma süresinde iki reaktörün toplamında %97,1 KOİ giderimine ulaşılmıştır.

Peynir altı suyu ile yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatakta arıtım çalışmaları 185 gün sürmüştür. R1'de organik yük 2-15 g KOİ/(l gün) aralığında ve R2'de 0,3-2,23 g KOİ/(l gün) aralığında değiştirilmiştir. Organik yük 12,71 g KOİ/(l gün) olduğunda 85 saatlik alıkonma süresinde iki reaktörün toplamında %98,9 KOİ giderimi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokimyasal metan potansiyeli (BMP), kek üretim atık suyu, şlempe, peynir altı suyu, yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktör

SUMMARY

Anaerobic treatability and methane production potential of high organic materials containing wastewaters from agricultural industry which located in the Porsuk River Basin have been investigated. Experiments on biochemical methane potential (BMP) have been carried out on the wastewaters with various initial chemical oxygen demand (COD) adding the basal medium and without it. The results have shown that basal medium addition were important for the examined wastewaters. According to BMP results; cake production, cheese making, and beet molasses alcohol distillery wastewaters have been deduced as the most suitable effluents for the anaerobical treatment. Anaerobical methane production potentials have been found for cake production wastewater at 12000 mg l⁻¹ initial COD value as 1062 ml CH₄/g COD (12,7 l CH₄/l wastewater), for cheese making wastewater at 30000 mg l⁻¹ initial COD value as 366 ml CH₄/g COD (10,98 l CH₄/l wastewater), and for alcohol distillery wastewater (vinasse) at 27000 mg l⁻¹ initial COD value as 222 ml CH₄/g COD (6 l CH₄/l wastewater).

These three wastewaters have been treated in two upflow packed bed anaerobic reactors, that effluent of the first reactor (R1) is the feed of the second one (R2). During 150 days operation time with the cake production wastewater organic load has changed between 1,3-10,2 g COD/(l day), hydrolic retention time between 120-26 hours. At 7,5 g COD/(l day) organic load and 29 h retention time, 98-99% total COD removal in two reactors has been observed.

Experiments with alcohol distillery wastewater have continued 200 days and organic loads have changed between 2,71-5,48 g COD/(l day) for the R1 and 0,68-1,18 g COD/(l day) for R2. At 4,8 g COD/(l day) organic load and 175 hours retention time, 97,1% total COD removal in two reactors has been achieved.

Feeding cheese making wastewater to upflow packed bed anaerobic reactors has lasted for 185 days. Organic loads have changed between 2-15 g COD/(l day) for R1 and 0,3-2,23 g COD/(l day) for R2. At 4,8 g COD/(l day) organic load and 85 hours retention time, 98,9% total COD removal in two reactors has gained.

Key words: Biochemical methane potential (BMP), cake production wastewater, vinasse, cheese making wastewater , upflow anaerobic packed bed reactor

TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü eğitimim süresince çalışma konularımın seçimi ve araştırmalarımın başlangıcından sonuna kadar her türlü yardım ve desteğini gördüğüm danışman hocam sayın Doç.Dr. Semra İLHAN'a,

Tezim boyunca Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümünün olanaklarından yararlanmamı sağlayan bölüm başkanı Sayın Prof. Dr. Yalçın ŞAHİN başta olmak üzere tüm öğretim elemanlarına,

Deneysel çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. M. Ercengiz YILDIRIM (Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği)'a,

Çalışmalarımızın maddi desteğini sağlayan Üniversitemiz Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na

Deneysel çalışmalarım sırasında her türlü ilgi ve yardımı gösteren çalışma arkadaşım Ferdağ ÇOLAK'a

Her zaman yanımda olan ve bana destek olan biricik eşim Süleyman Murat İŞÇEN'e, yaşamımın her döneminde, sevgi, ilgi, sabır ve desteklerini hep hissettiğim annem, babam ve kardeşim Tansu FİLİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Anaerobik arıtımda reaksiyon basamakları.....	10
2.2. Metanojenezis ve asetojenezis sürecindeki farklılık	14
2.3. Asetil-CoA yolizi reaksiyonları	16
2.4. Methanojenezis yol izi.....	19
3.1. Yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktör	48
4.1. Peynir altı suyu BMP çalışmalarında kullanılan BO'lı BO'sız serum şişelerinde gaz üretim değerleri (* BO'lı)	57
4.2. Şlempeye ait BMP çalışmalarında kullanılan BO'lı BO'sız serum şişelerinde gaz üretim değerleri.....	60
4.3. Kek üretim atıksuyu BMP çalışmalarında kullanılan BO'lı ve BO'sız serum şişelerinde gaz üretim değerleri	62
4.4. Kek üretim atık suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları.....	66
4.5. Kek üretim atık suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları.....	67
4.6. Kek üretim atık suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları:	69
4.7. Kek üretim atık suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları.....	70
4.8. Şlempenin birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları	74
4.9. Şlempenin birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları	75
4.10. Şlempenin ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları	77
4.11. Şlempenin ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları	78
4.12. <i>P. decumbens</i> ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları.....	80
4.13. <i>P. crustocum</i> ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları.....	81

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.14. <i>A. niger</i> ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları	82
4. 15. Aktif çamur ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları.....	83
4.16. Peynir altı suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları	86
4.17. Peynir altı suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları	87
4.18. Peynir altı suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları	89
4.19. Peynir altı suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları	90
4.20. Aktif çamur ile peynir altı suyunun aerobik arıtım sonuçları	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Anaeroplarn besinsel çeşitliliği.....	12
2.2. Organik bileşiklerin metanoanoksik dönüşümünde oluşan temel reaksiyonlar	22
2.3. Anaerobik süreçlerde eser elementlerin yararlı konsantrasyon değerleri ve etkileri	23
2.4. Türkiye’de anaerobik biyoteknolojinin uygulamaları.....	30
2.5. Avrupa’da 1994 yılı itibariyle endüstriyel arıtma tesislerinin ülkelere göre dağılımı	31
2.6. Dünya’daki anaerobik arıtma tesislerinin sektörlere göre dağılımı	31
3.1. Eskişehir Organize Sanayinde yer alan tarıma dayalı kuruluşlar.....	32
3.2. Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi dışında yer alan tarıma dayalı kuruluşlar.....	33
3.3. Örneğin alkalinite miktarının hesaplanması.....	45
3.4. Reaktörde izlenen parametreler.....	50
4.1 Değişik fabrikalardan alınan atık suların özellikleri	52
4.2. Kesikli çalışmalarda kullanılan anaerobik çamurun özellikleri	53
4.3. Sürekli reaktör çalışmalarında kullanılan anaerobik çamurun özellikleri.....	53
4.4. Aerobik arıtmada kullanılan aktif çamurun özellikleri.....	53
4.5. Aslan Susam ve Tahin Gıda atık suyu BMP denemeleri	54
4.6. Demircanlar Yağ Sanayi atık suyu BMP deneme bulguları	55
4.7. Es-Kar Et Kombinasyonu atık suyu BMP deneme bulguları	55
4.8. Güney Süt Diyarı atık suyu BMP deneme bulguları.....	56
4.9. Güven Süt atık suyu (peynir altı suyu) BMP deneme bulguları	56
4.10. Kükürer Gıda atık suyu BMP deneme bulguları.....	58
4.11. Pınar Süt atık suyu BMP deneme bulguları	58
4.12. Şeker fabrikası dinlendirme havuzu çıkış suyu BMP deneme bulguları	59
4.13. Şlempe BMP deneme bulguları	59
4.14. Tam Gıda hamur işleme birimi atık suyu BMP bulguları.....	61
4.15. Kek üretim atık suyu BMP deneme bulguları.....	61
4.16. Kek üretim atık suyunun özellikleri.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ(devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.17. Kek üretim atık suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları.....	64
4.18. Kek üretim atık suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları.....	68
4.19. Alkol damıtma atık suyunun özellikleri.....	71
4.20. Şlempenin birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları.....	73
4.21. Şlempenin ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları.....	76
4.22. Anaerobik arıtım öncesi ve sonrası ortalama iyon derişimleri (mg l^{-1})	79
4.23. <i>P. decumbens</i> ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları.....	80
4.24. <i>P. crustocum</i> ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları.....	81
4.25. <i>A. niger</i> ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları.....	81
4.26. Aktif çamur ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları.....	82
4.27. Peynir altı suyunun özellikleri	84
4.28. Peynir altı suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları.....	85
4.29. Peynir altı suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları.....	88
4.30. Aktif çamur ilr peynir altı suyunun aerobik arıtım sonuçları.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
BOİ ₅	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
AKM	Askıda Katı Madde
TKM	Toplam Katı Madde
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UTKM	Uçucu Toplam Katı Madde
UYA	Uçucu Yağ Asitleri
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
BMP	Biyokimyasal Metan Potansiyeli
HAS	Hidrolik Alıkonma Süresi
OYO	Organik Yükleme Oranı
YAADY	Yukarı Akışlı Anaerobik Dolgulu Yatak
YAAÇY	Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatak
BO	Bazal Ortam
R1	Reaktör 1
R2	Reaktör 2

1. GİRİŞ

Biyolojik olarak ayrışabilir karbon kaynağı içeren atıkların alıcı ortamlara deşarjının, ekolojik denge üzerindeki etkileri oldukça komplekstir. Karbon, canlı mikroorganizmaların metabolik etkinliklerinin devamı için gerekli temel elemandır. Ancak karbon içeren atık suların alıcı ortama deşarjı sonucu karbon kaynağının oksidasyonu için gerekli oksijenin kısıtlayıcı parametre olması ortamda anaerobik koşulların (havasız) oluşmasına neden olmaktadır. Anaerobik koşullarda sülfat (SO_4^{2-}) iyonlarının ve kükürtlü organik bileşiklerinin (S) H_2S 'e, NO_3^- ve NO_2^- iyonlarının azot (N_2) gazına, azotlu organik bileşiklerin amonyak (NH_3)'a ve organik karbonun karbondioksit (CO_2) ve metan (CH_4) gazlarına dönüşmesi alıcı ortamda arzu edilmeyen koşulların (pis koku, çirkin bir görünüm) oluşmasına yol açmaktadır. Sonuçta, alıcı sulardaki canlı yaşam sona ermekte ve doğal denge bozulmaktadır (Pekin 1984, Gönenç vd., 1985).

Atık suların içerdiği organik maddelerin alıcı ortamda yaratacağı bu olumsuz etkilerin giderilmesi için çeşitli arıtma teknolojileri geliştirilmiş ve geliştirilmektedir. Yüksek organik madde içerikli atık suların arıtılmasında genellikle biyolojik arıtma yöntemleri uygulanır. Biyolojik arıtım, atık sudaki organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılması ve böylece zararsız duruma getirilmesi esasına dayanır. Bunlar arasında yüksek arıtım verimleri, düşük hidrolik bekletme süreleri, kontrollü kolay işletme koşulları gibi nedenlerle aerobik arıtma sistemleri çok yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Ancak özellikle 1970 li yıllardan sonra tüm dünyada hızla artan enerji maliyetleri kullanılan arıtma sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin, özellikle enerji gereksinimlerinin yeniden gözden geçirilmesini zorunlu kılmış ve daha az enerji kullanan anaerobik arıtma sistemleri üzerinde yoğun araştırmalar başlatılmıştır. Aerobik ve anaerobik arıtma sistemlerinin maliyet ve enerji gereksinimiyle ilgili genel değerlendirmeler ve karşılaştırmalar, pratik olarak 5000 mg l^{-1} ve daha yüksek miktarlarda organik madde içeren atık suların arıtımında anaerobik sistemlerin çok daha avantajlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle anaerobik biyolojik arıtım sistemleri özellikle yüksek organik madde içerikli gıda endüstrilerinde tek seçenek olarak uygulanmış, hatta anaerobik sürecin son ürünü olan gazların enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi nedeniyle ilk

yatırım maliyetini birkaç yılda amorti edebilen ve ileriki yıllarda en azından arıtım sisteminin işletme maliyetini sıfıra düşüren anaerobik arıtım teknolojileri geliştirilmiştir (Pekin vd., 1984; Gönenç vd., 1985; Kiely et al., 1997).

Sanayileşmeye paralel olarak yürütülen çevre kirlenmesi kontrolünde kuvvetli (yüksek organik madde içerikli) atık su veren sanayiler için en ekonomik seçenek olarak tüm dünyada anaerobik arıtım sistemleri uygulama alanı bulmuştur. Enerji kullanımının ve tasarrufunun çok önemli olduğu yurdumuzda da yaygın bir uygulama alanı bulması kaçınılmaz bir sonuçtur. Ancak tüm teknolojik uygulamalarda olduğu gibi, anaerobik arıtım teknolojilerinin uygulamalarında da ayrıntılı bilgi birikimi gerekmektedir. Bu nedenle anaerobik sistemlerin teknolojik esaslarının belirlenmesi yönünde yürütülen çalışmalar mevcut bilgi birikimine katkıda bulunacak ve sistemlerin endüstriyel ölçekte uygulamaya konması aşamasında kuruluş ve işletme problemlerinin en aza indirilmesine yardımcı olacaktır.

Verimlilik açısından, anaerobik arıtım yöntemiyle arıtılacak atık suyun organik madde içeriğinin yüksek olması önerilmektedir. Bu yüzden çalışmamız, Porsuk Havzasında yer alan yüksek organik madde içerikli atık su üreten fabrikalarla sınırlandırılmıştır. Havzada yer alan ve önceden kirlilik yükü belirlenen tarıma dayalı sanayilerin atık sularının anaerobik arıtılabilirlikleri ve metan üretim potansiyellerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2.GENEL BİLGİLER

2.1. Endüstriyel ve Tıbbi Mikrobiyolojide Anaerobik Mikrobiyolojinin Önemi

Anaerobik mikrobiyolojinin, tıbbi ve endüstriyel mikrobiyoloji üzerinde önemli bir etkisi vardır. 1800'lü yılların sonlarında, *Clostridium botulinum*, *C. tetani* ve *C. welchii* (*C. perfringens*) gibi zorunlu anaerobik organizmaların insan ve hayvanlarda hastalığa neden olduğu bilinen en toksik bazı maddeleri ürettiği gösterilmiştir. İlk aşılama demonstrasyonu ve protein toksinlerine karşı immünite gelişmesi, Kempner ve Kitasato tarafından tetanus ve botulinus toksoidleri ile hayvanların aşılamaıyla başarılmıştır (Johnson, 1999).

Endüstriyel fermentasyonlarda anaerobik organizmaların önemi, cephane üretiminde kullanılan izopren ve asetonun prekürsörü olarak butanol için bir endüstriyel fermentasyon prosesinin geliştirildiği I. Dünya Savaşı sırasında ve öncesinde daha fazla görülmektedir. Perkins ve Weizmann *Clostridium acetobutylicum* ile aseton-butanol fermentasyonu üzerine çalışmışlardır. Ekonomi açısından, dünya çapında en önemli endüstriyel fermentasyon *Saccharomyces* ve diğer mayalarla etanolün anaerobik üretimidir. Böylece, anaerobik fermentasyonlar bilim ve endüstriyel mikrobiyolojiye büyük oranda katkıda bulunmuş ve bulunmaya devam etmektedir (Johnson, 1999).

2.2. Anaerobluk ve Zorunlu Anaerobik Mikroorganizmaların Tanımı

Anoksikliğin tam bir tanımını yapmak zordur. Dünya atmosferi hacim olarak %20.9 oksijen içerir. Oksijenin suda çözünürlüğü düşüktür, sıcaklık ve çözülmüş madde konsantrasyonuyla değişir. Atmosferik basınçta, 20 °C de, saf suda çözünürlük 291 µM dir.

Zorunlu anaerobik mikroorganizmalar oksijenden bağımsız bir enerji metabolizmasına sahiptir ve yaşam döngülerini oksijenin yokluğunda tamamlarlar. Fakültatif anaeroblar, oksidatif fosforilasyonla büyüebildikleri gibi oksijenin yokluğunda da büyüebilirler. Mikroaerofilik mikroorganizmalar, büyüme için düşük oksijen konsantrasyonlarına gerek duyarlar. Zorunlu anaerobik mikroorganizmalar, reaktif oksijen tiplerine karşı koruyucu mekanizmalarının bulunmaması nedeniyle, oksijen varlığında büyüme yeteneğinden yoksundurlar (Johnson, 1999).

Anaerobik mikroorganizmaların moleküler oksijene duyarlılığı farklı mikrobiyal gruplar arasında oldukça farklılık gösterir. Metanojenler gibi, bazıları aşırı derecede duyarlıdır ve belirlenebilir oksijen sınırının altındaki seviyelerde inhibe edilirler. Bir çok *Clostridium* gibi diğerleri, oksijene nispeten hoş görülüdür ve kısa süreli maruz kalmaya dayanabilir. Zorunlu anaeroblar, herhangi bir enerji üreten basamakta ya da anabolik veya katabolik reaksiyonlarda da oksijeni kullanmaz (Johnson, 1999).

Anaerobların oksijenle inaktivasyonu, muhtemelen hücrel bileşenlerin oksijenle doğrudan reaksiyonlarını içermez. Moleküler oksijen paylaşılmamış yörüngelerle birlikte paylaşılmamış iki elektron içerir ve onun çoğu organik bileşiklerle doğrudan reaksiyonu etkisizdir. Oksijen, enerji absorblayarak ya uyarılmış singlet hale (singlet oksijen, 1O_2) ya da süperoksit anyonuna ($O_2^{\bullet-}$), hidrojen peroksite (H_2O_2) ve hidroksil radikaline (HO^{\bullet}) tek elektron redüksiyonuyla oksitleme kapasitesi kazanır. Bu reaktif oksijen formları özellikle 1O_2 ve radikaller ($O_2^{\bullet-}$ ve HO^{\bullet}) organik moleküllere karşı oldukça reaktiftir ve hücrel hasara ve ölüme neden olabilir. Aerobik organizmalar, reaktif oksijen tiplerinden korunmak üzere enzimatik ve enzimatik olmayan yollar içerir (Johnson, 1999).

Anaeroblar, farklı oksidasyon redüksiyon potansiyellerinde (redoks potansiyeli, E_h) büyüebilme yeteneklerine göre sınıflandırılırlar. E_h , bir çözeltildeki maddelerin elektronları verme ya da alma (yani oksitlenmiş ya da indirgenmiş hale gelmesi) eğiliminin bir ölçümüdür. Sayısal olarak, $E_h = E_0 + (RT/nF) \ln ([Ox]/[Red])$ eşitliği ile tanımlanır. Burada E_0 ($= -\Delta G_0/nF$) yarı oksitlenmiş sistemin potansiyelidir. Uygulamada E_h hidrojen elektrodunun potansiyeline ilişkin elektriksel potansiyel birimi (milivolt) şeklinde ifade edilir. E_0 , standart hidrojen elektroduna göre %50 indirgenmiş bir bileşiğin standart redoks potansiyelidir. E'_0 ise pH 7 de 25 °C'de, 1 atm H_2 altındaki E_h dir ve -413 mV luk bir değere sahiptir. E'_0 , pH 7 de %50 indirgenmiş herhangi bir bileşiğin hidrojen elektroduna göre standart redoks potansiyelini tanımlamada işe yarar (Johnson, 1999).

Pozitif E_h değerleri anaerobların büyümesini inhibe edecektir, ama sınırlayıcı E_h , E_h yı ayarlama iş gören oksidant (lar)a bağlıdır. Bazı anaeroblar O_2 'den başka bir maddenin E_h yı artırması halinde pozitif redoks potansiyelinde büyüebilme yeteneğindedir. Mikrobiyal türe bağlı olarak fakültatif anaeroblar +300 ve -420 mV

arasında büyüyebilirken obligat anaeroblar -150 ila -420 mV arasında yaşayabilirler. E_h çözülmüş oksijen varlığıyla yükseldiğinde, çoğu obligat anaerob -100 mV dan daha yüksek bir E_h da inhibe edilir. Bazı metanojenler gibi zorunlu anaeroblar -330 mV dan daha yüksek bir E_h da büyümeye başlamıyacaktır (Johnson, 1999).

Ortamın pH'sı E_h 'yi ve dolayısıyla anaerobların büyümesini ve canlılıklarını sürdürmelerini etkiler. Genel olarak, protonların serbest hale geçtiği redoks reaksiyonlarında pH düştüğü için E_h artar. Asit üretildiğinde kültürde E_h artar. Endüstriyel ya da laboratuvar fermentasyonlarında, ölçülen E_h çok sayıda ayrı ayrı redoks reaksiyonlarının E_h sınır toplamını gösterir. Resazurin gibi redoks-aktif boyalar bir ortamdaki E'_0 in derecesinin iyi bir indikatörü olarak iş görmesine rağmen, elektrot içeren yöntemler bir ortamın E_h sınırı belirlemek için kullanılabilir (Johnson, 1999).

2.3 Anaerobik Fermentasyonların Özellikleri, Avantaj ve Dezavantajları

Biyoteknolojide mikroorganizmaların esas önemli özelliği onların aşırı derecede küçük boyutlarıdır. Bu da, yüksek metabolik hız ile sonuçlanan çok büyük bir yüzey-hacim oranı verir. Bu özellik hem aerobik hem de anaerobik endüstriyel fermentasyonlarda büyük öneme sahiptir. Taksonomik grup ve fizyolojilerine bağlı olarak, mikroorganizmalar substratların spesifik degradasyonunu ve ürün sentezini sağlayan özel enzimleri ve enzim sistemlerini de içermektedir. Anaerobik mikroorganizmalar biyosentezde moleküler oksijeni kullanmadıkları gibi son elektron alıcısı olarak da oksijeni kullanamaz. Onun yerine, enerji metabolizmalarında bir dizi farklı organik ve inorganik elektron vericisi ve alıcısı kullanırlar. Tahmin edileceği gibi, metabolizmadaki bu geniş çeşitlilik, *Archaea*, *Bacteria* ve *Eukarya* domainlerindeki oldukça farklı mikroorganizma topluluğunu kapsar. Anaeroblar arasında oldukça fazla farklı metabolik kalıplar nedeniyle, anaerobik fermentasyonlar aerobik proseslerde olmayan bazı özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden bazıları avantaj olarak görülürken bazıları da baştan sona tüm prosesi olumsuz etkiler.

2.3.1. Anaerobik fermentasyonların üstünlükleri

Ürün verimi daha yüksek olabilir. Karakteristik enerji metabolizmaları ve bunun sonucunda az miktarda ATP oluşumu nedeni ile anaeroblar, aerobik

organizmalardan genellikle daha az biyokütle oluştururlar. Az biyokütle üretimiyle birlikte daha fazla karbon son ürünlere dönüştürülebilir ve yüksek spesifik ürün verimleri elde edilebilir. Anaerobların yüksek yoğunluklu kültüre edilebilmesi için, asitler gibi, prosesin geri besleme inhibisyonuna neden olabilen son ürünlerin birikimini sınırlamak gereklidir.

Anaerobik fermentasyonlar aerobik proseslerden daha az kütle ve enerji girişi gerektirir ve daha ekonomik olabilir. Çoğu anaerobik fermentasyonlar fermentörlerde nisbeten az kütle transferi (ör: oksijen) ve enerji girişi gerektirir. Reaktörlere enerji girişi için başlıca gereksinimler, hücreleri süspansiyon içinde tutmak ve askıda haldeki hücrelere uygun besinleri vermektir. Böylece fermentör işletme maliyetleri oksijen gerektiren aerobik fermentasyon için gerekenden önemli derecede daha düşük olabilir. Anaeroblar, polisakkaritler, şekerler, melaslar ve diğer kompleks substratlar gibi çok çeşitli substratları kullanabilir. Bu substratlar, zirai atıklardan elde edilirse, fermentasyon prosesinin maliyetini düşürebilir.

Anaeroplara kompleks substratları katabolize eder ve eşsiz ürünler üretir. Belirli anaerobik organizmalar, polisakkaritler ya da proteinler gibi kompleks organik substratları etkin bir şekilde fermente eder ve pekçok zorunlu anaerob elektron vericileri ya da alıcıları olarak CO, CO₂, H₂, H₂S gibi basit bileşiklerle kemolitotrofik büyüme yeteneğindedir. Aynı zamanda, CH₄, organik asitler ya da aerobik organizmalar tarafından üretilmeyen diğer bileşiklerin yüksek verimde üretimi sözkonusudur. Anaerobların ekolojisi ve çevreleri aeroblarınkinden farklı olabilir ve bunun sonucu olarak anaeroblar biyoteknolojik proseslerde potansiyel değeri olan katabolik yol izleri ve alışılmamış enzimlere sahip olabilirler. Farklı şartlar altında büyüebilmeleri fermentasyon boyunca kontaminasyonu azaltır. Pekçok anaerob oksijenin az miktarda çözünebildiği yüksek sıcaklıklarda büyür ve bu şartlar altındaki büyüme etkin ürün geri kazanımına katkıda bulunabilir.

Konsorsiyumda bulunan anaeroplara, eşsiz ürünlerin oluşumuyla birlikte kompleks substratları katabolize etmeyi mümkün kılar. Anaerobik yaşamın çeşitli mikroorganizma gruplarının etkileşimine dayandığı bilinmektedir. Bu etkileşim kimyasal olabileceği gibi, organizmalar floklar ya da biyofilmler oluşturarak fiziksel olarak birlikte olabilirler. Bu fiziksel birlik etkili metabolizmayı, etkili parçalamayı ve

aerobik proseslerde yapılmayan sentez reaksiyonlarını teşvik eder. Karışık anaerob türlerinin bir arada olması, kompleks substratların tam olarak kullanımını sağlayabilir. Örneğin selüloz, anaerobik konsorsiyum ile metan ve hidrojene kadar tamamen parçalanabilir. Karışık anaerobik kültürler, organizmanın tek başına sahip olduğundan daha geniş bir enzim aktivitesi aralığına sahip olup, çok çeşitli substratları parçalayabilir ve tam mineralizasyonu başarabilirler. Karışık anaerobik kültürler, tek bir organizma için mümkün olmayan, çok basamaklı substrat transformasyonlarını gerçekleştirebilirler. Karışık kültür fermentasyonlar, zirai ve endüstriyel atıklar gibi ucuz ve saf olmayan substratların kullanımına da imkan verir.

Anaeroblar, oldukça zengin biyoçeşitlilik rezervuarı ve potansiyel ürün ve prosesleri sağlayarak ekstrem çevrelerde gelişebilirler. Sıcak, asidik ve alkali şartlar gibi ekstrem çevresel şartlarda büyüyen anaeroblar bulunmuştur. Bu “ekstremofiller”, farklı genetik ve fizyolojik mekanizmalar kullanır ve böylece oldukça kararlı enzimler, eşsiz biosentetik ve katabolik yetenekler gösterirler (Johnson, 1999).

2.3.2. Anaerobik fermentasyonların dezavantajları

*Saf kültür içeren birçok anaerobik fermentasyon, kontaminasyona, bakteriyofaj enfeksiyonuna ve kendiliğinden dejenerasyona eğilimlidir. Anaerobik ekolojik sistemlerin işbirlikçi tabiatı, saf kültürlerden oluşmuş proseslerin özellikle kontaminasyona duyarlı olmasına neden olur. Çözgen fermentasyonlarında ve bazı toksinlerin üretiminde kullanılan *Clostridium* saf kültürleri, mutasyon ya da diğer dejenerasyon prosesleriyle, yüksek çözgen ya da toksin verimi açısından kapasitelerini yitirebilirler. Birçok *Clostridium* da çözgen ya da toksin verimini azaltan bakteriyofaj enfeksiyonuna maruz kalır.*

Endüstriyel prosesler için gerekli olan mikrobiyal komuniteler (konsorsiyumlar) kararlı olmayabilir. Mikrobiyal konsorsiyumda yer alan türler çevresel değişimlere ve besin durumuna göre değişiklik gösterebilir. Bu, prosesin bozulması ya da etkisiz olmasına yol açar. Karışık kültür mikrobiyal prosesleri, bilimsel bakışla incelemek ve modellemek doğal olarak zordur.

Zorunlu anaerobların laboratuvarında ve bazı endüstriyel proseslerde kültüvasyonu için özel besiyeri ve cihazlar gereklidir. Zorunlu anaeroblar oksijene

maruz kalınca inaktif olurlar. Kesinlikle anaerob olan mikroorganizmaların kültüvasyonu ve manipulasyonu için, oldukça beceri ve titiz yöntemler gerekir.

Bir çok anaerobu genetik açıdan manipule etmek zordur. Aktinomiset, fakültatif aerobik bakteriler ve pseudomonadlar gibi bazı aerobik organizma gruplarına kıyasla, genetik manipulasyon yöntemleri, istenen genin ekspresyonu ve biyosentetik yol izleri hakkında nispeten az bilgi vardır.

Anaerobların biyosentezde oksijeni kullanamaması, bazı primer metabolitlerin ve bir çok sekonder metabolitin üretimini sınırlar. Zorunlu anaeroblar oksijenaz ve oksidazlara (bazı istisnalarla birlikte) sahip değildirler ve biyosentezinde oksijen kullanılan bir çok sınıf bileşiği sentezleyemezler. Bunlar arasında steroller gibi bir çok primer metabolit , özel pigment sınıfları ve antibiyotikler gibi sekonder metabolitler ve biyosentezlerinde oksijen kullanılan diğer metabolitler yer almaktadır.

Anaeroblar, kokuşturucu aminler ve sülfür bileşikleri gibi toksik ve zararlı ürünler oluşturabilirler. Sulfat indirgeyen bakteriler son ürün olarak sülfürleri üretirler; bu bileşikler metal ve betonda fiziksel hasara neden olabilir. Bir çok kokuşmaya neden olan klostridium kadaverin, putresin ve özellikle büyük ölçekte onlarla çalışmayı zorlaştıran diğer bileşikler üretirler.

Ürün verimi düşük olabilir. Karakteristik düşük enerji verimleri nedeniyle, biyosentezi enerjiye dayanan ürünlerin az miktarları denenebilir. Bu nedenle, özel kültür cihazları ya da dializ kültür gibi teknikleri kullanmak bazı durumlarda yararlı olabilir.

Patentleyebilme ve entellektüel özelliğin korunması zor olabilir. Bir çok anaerobik prosesin kantitatif olarak tanımlanması oldukça karmaşık ve zordur. Bu nedenle, pek çok durumda bu karmaşık proses için patent almak zorlaşır (Johnson, 1999).

2.4. Anaerobik Süreçlerin Mikrobiyolojisi ve Biyokimyası

Ayrışma sürecinin çok çeşitli tipte mikroorganizmalar tarafından birbirleriyle bağlantılı reaksiyon basamaklarında gerçekleştirilmesi nedeniyle anaerobik süreçlerin biyokimya ve mikrobiyolojisi; aerobik süreçlere göre daha karmaşıktır.

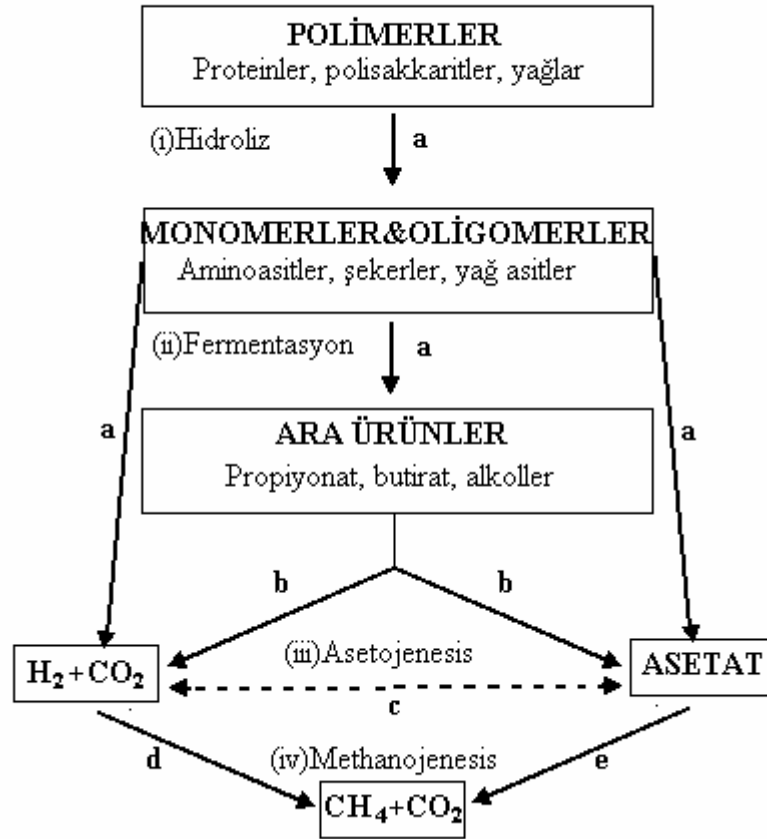
Bir anaerobik reaktörde, anaerobik mikroorganizmalar topluluğu organik çamur ve atıkların dönüşümünü sağlamak için birlikte çalışırlar. Biyolojik olarak ayrışabilen maddelerin CH₄ ve CO₂ gibi son ürünlere dönüşümü dört adımda ve fizyolojik olarak farklı beş mikroorganizma grubu ile gerçekleşmektedir.

Şekil 2.1 incelendiğinde kompleks organik polimerler (proteinler, polisakkaritler gibi) fermentatif bakteriler tarafından düşük molekül ağırlıklı (organik asitler ve alkoller gibi) monomerlerine parçalanır (a). Bu fermentasyon ürünleri zorunlu hidrojen üreten asetojenik bakteriler tarafından asetik asit ve hidrojene oksitlenir, bu basamak asetojenesis olarak adlandırılır (b). Asetojenesis, asetojenler ve homoasetojenler tarafından hidrojen ve karbondioksitten asetat üretimini de içermektedir (c). Hidrojen üreten asetojenik bakteriler (b) hidrojenotrofik metanojenler (d) ile sintrofik ilişki içindedirler. Finalde asetoklastik metanojenler (e) asetatı metan ve karbondioksit dönüştürürler (metanojenesis). Çoğu doğal ve mühendislik sistemlerinde üretilen metanın yaklaşık % 70'i asetoklastik metanojenler sayesinde olur. Stres koşulları arttıkça ve termofilik sistemler kullanıldığında asetojenik ya da homoasetojenik bakteriler tarafından asetatın karbondioksit ve hidrojene sintrofik oksidasyonu (c) gibi alternatif yollara yönelme olur (Gönenç vd., 1985; Öztürk vd., 1991; Eltem, 2001; Angenent, et al., 2004).

Hidroliz yavaş bir süreç olup hücreselel enzimler ve pH ile kontrol edilmektedir. Özellikle lipidlerin çok yavaş hidroliz olmaları nedeniyle, önemli miktarlarda lipid içeren atık suların anaerobik ayrıştırılmasında hidroliz adımı hız kısıtlayıcı olabilmektedir.

Kararlı dengede çalışan anaerobik sistemlerde uçucu yağ asitlerinin konsantrasyonu oldukça düşüktür. Artan konsantrasyonlar sisteme yapılan organik yüklemdeki değişimlerden veya sistemin maksimum yüklerde çalıştırılmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle sistemin devreye alınma sürecinde uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının arttırılmamasına ve dolayısıyla sistemde biriktirilmemesine özen gösterilmelidir. Çünkü aniden oluşan yüksek konsantrasyonların metan üreten bakterilere inhibisyon etkisi yaptığı belirlenmiştir (Gönenç vd., 1985; Öztürk vd., 1991).

Metan üretimi, yavaş bir süreç olması nedeniyle, anaerobik arıtımda hız kısıtlayıcı basamak olmaktadır. Hidrojen ve karbondioksitten metan üreten bakteriler, asetik asitten metan üretenlere göre çok daha hızlı gelişirler (Öztürk vd.,1991).

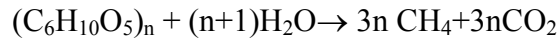


Şekil 2.1. Anaerobik arıtımda reaksiyon basamakları (Angenent, et al., 2004)

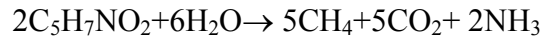
Anaerobik arıtım sonunda ortaya çıkan biyogaz; renksiz, yanıcı, ana bileşenleri %50-70 metan, %30-40 CO₂, %1-3 H₂, %1-2 N₂, %0,3 H₂O ve eser miktarda H₂S' dir (Gülen ve Arslan, 2005). Bu gaz karışımının enerji üretiminde kullanılan esas ögesi metan gazıdır. En iyi gaz üretimi ve elde edilen gaz içindeki metan oranının yüksekliği yukarıda bahsedilen üç grup mikroorganizmanın uyum halinde etkinlik göstermesine bağlıdır.

Anaerobik reaktörlerde arıtılan organik maddelerin başlıcaları polisakkaritler, lignin, proteinler, azotlu bileşikler ve lipidlerdir. Polisakkaritler, selüloz ile hemiselüloz

ve pektinleri içerirler. Bunlar genel olarak anaerobik ortamda ayrıştırılabilmektedir. Polisakkaritlerin hidroliz yolu ile monosakkaritlere parçalanması esnasında şekerler enerji kaynağı olarak kullanılır. Glukozun polimerleri olarak ele alındıkları takdirde polisakkaritlerin hidroliz yolu ile tam anaerobik fermentasyonu aşağıdaki reaksiyon ile verilebilir. Bu şekilde üretilen gazın %50 oranında CH₄ içermesi beklenir (Öztürk, 1991).



Proteinler, yirmi kadar doğal aminoasidin polimerleridir. Anaerobik fermentasyon öncesinde proteinlerin bünyesindeki azot; amonyak, asetat, propiyonat ve butirat gibi belli başlı fermentasyon ürünlerine çevrilir. Anaerobik reaktörlerde proteinlerin mikroorganizmalarca gazlara ve amonyağa dönüştürülmesi olayı aşağıdaki denklem ile ifade edilir. Buna göre gaz fazındaki metan oranı %50 den fazla olabilir (Öztürk, 1991).



Lignin, çapraz olarak birbirine bağlanmış fenil propan türevlerinin kompleks polimerlerdir. Lignin anaerobik olarak kolaylıkla hidroliz olmamaktadır. Yağlar suda çözünmeyen ancak, organik çözücülerde çözünebilen heterojen organik bileşiklerdir. Lanolin ve benzeri bazı yağ türevleri anaerobik ayrışma prosesi ile parçalanmamaktadır (Öztürk vd., 1991).

2.5. Anaerobik Metabolizma

2.5.1. Enerji üretimi

Aerobik ve anaerobik enerji metabolizması arasında birkaç temel farklılık vardır. Anaerobik bakterilerde enerji üretimi, fermentasyonla, oksijen dışında diğer elektron alıcılarının kullanıldığı solunumla ve anaerobik fotosentez ile gerçekleştirilebilir. Anaerobik enerji metabolizması düşük ATP üretimi ve düşük hücresel kütle oluşumuyla karakterize edilir. Hemen hemen tüm doğal ortamlarda ve bir çok endüstriyel prosesde anaerobik substrat metabolizması kompleks substratları parçalamak üzere organizma kominitelerinin katılımıyla karakterize edilir. Örneğin, selulozun metana fermentasyonu çeşitli mikrobiyal türlerin katılımını gerektirir. Proses boyunca ilgili

organizmalar, kullanılan elektron verici ve alıcıları enerji transformasyonunun termodinamik etkilerine bağlıdır. Anaeroblar tarafından çok çeşitli elektron verici ve alıcılarının kullanılmasıyla çok sayıda son ürün oluşur (Çizelge 2.1) (Johnson, 1999).

Çizelge 2.1. Anaeroplara besinsel çeşitliliği

Proses	Kullanılan elektron vericisi	Elektron alıcıları ve indirgenmiş son ürün(ler)
Fermentasyon	Organik moleküller: karbohidratlar, amino asitler, pürinler, pirimidinler	Organik moleküller ve protonlar: alkoller, yağ asitleri, ketonlar, hidrojen gazı
Anaerobik solunum	Organik moleküller: yukarıdaki gibi İnorganik moleküller ya da iyonlar: karbon monoksit, hidrojen gazı, metal sülfidler, amonyum, nitrit, ferro ve mangan tuzları, kükürt	Nitrat, nitrit, amonyak, azot gazı,asetat,fumarat,süksinat, dimetilsülfid, ferrik tuzlar, ferro tuzlar, trimetilamin, trimetilamin oksit
Metanogenesis	Hidrojen gazı, format, asetat	Karbonat, metan
Fototrofluk	Organik moleküller: alkoller, yağ asitleri,organik asitler İnorganik bileşikler ya da iyonlar: Hidrojen gazı, ferrik sülfid, kükürt,tiyosulfat	Karbonat, hücrenel bileşenler

2.5.1.1. Fermentasyon

Fermentasyonda organik substratlar ve organik elektron alıcıları kullanılır ve son ürün olarak indirgenmiş organik maddeler oluşur. ATP substrat seviyesinde fosforilasyonla elde edilir. Primer substrat glukoz ise, biyosentez için gerekli olan enerji iki ya da üç karbonlu substratlarınkine göre daha düşüktür. Bu yüzden mikrobiyal konsorsiyumda, organizmaların rekabet yeteneği enerji üretimi için primer substratlarına bağlı olacaktır. Son ürünler de kazanılan ATP yi etkileyecektir: bir çok *Clostridium*da meydana geldiği gibi, glukozun uçucu yağ asitlerine ve H₂' e fermentasyonu fermente edilen heksoz başına ikiden daha fazla ATP verebilir, halbuki iki laktat molekülüne (homolaktik asit bakterileri) ya da etanol moleküllerine (fermentatif mayalar) fermentasyon sonunda fermente edilen heksozdan ancak maksimum iki ATP molekülü oluşur. Baskın türleri ve hücrelerin ve son ürünlerin verimini etkileyen diğer faktörler substrat konsantrasyonu etanol gibi son ürünlere

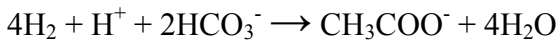
organizmanın toleransıdır. Çoğu endüstriyel fermentasyonlarda, son ürün eşzamanlı olarak uzaklaştırılırsa proses hızı artar.

Birkaç anaerob grubu enerji kaynağı olarak azot içeren bileşikleri kullanır. Aminoasitlerin anaerobik fermentasyonu özellikle klostridiumlar ve rumen bakterilerinde çok rastlanır. Azotun kullanılabilme miktarı da kritiktir ve büyüme için sınırlayıcı olabilir, sonuçta okyanus ve göllerin anaeroblarla kirlenmesi söz konusudur (Johnson, 1999).

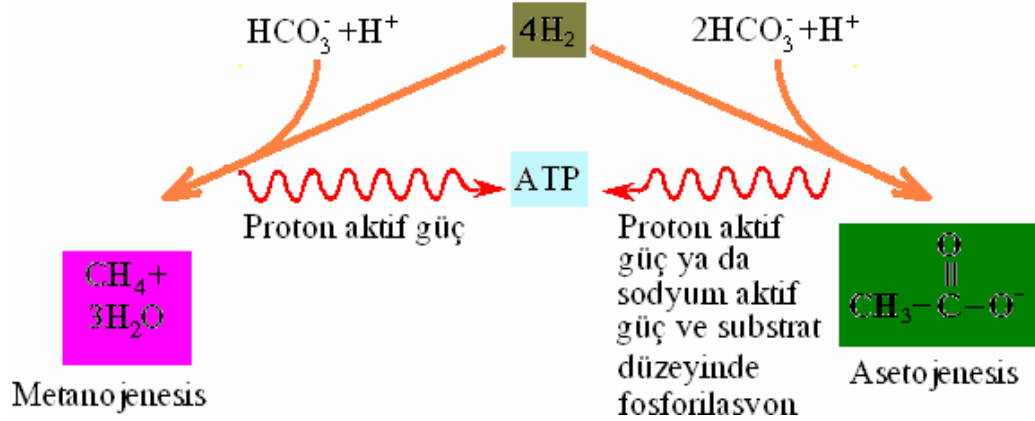
2.5.1.2. Asetojenesis

CO₂ doğada yaygındır ve genellikle kemoorganotrofların enerji metabolizmasının en önemlilerinden biri olduğu için anoksik habitatlarda bol olarak bulunur. Zorunlu anaerobik prokaryotların iki büyük grubu enerji metabolizmalarında elektron alıcısı olarak CO₂' i kullanırlar. Bunlar; homoasetojenler ve metanojenlerdir. Hidrojen (H₂) bu organizmaların her ikisi için temel elektron vericisidir. Metanojenesis ve asetojenesis sürecindeki yol izi şekil 2.2'de gösterilmektedir Her iki süreçte, membrandaki ATPaz ların sürdürdüğü H⁺ veya Na⁺ iyon gradiyentlerinin oluşumuyla sonuçlanırken; asetojenesis ayrıca substrat düzeyinde fosforilasyon aracılığı ile de enerji korunumunu içerir (Madigan et al., 2006).

Homoasetojenler aşağıdaki reaksiyonu gerçekleştirirler.



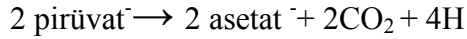
H₂' e ilaveten, asetojenler için elektron vericileri organizmaya bağlı olarak C₁ bileşiklerini bir çeşidini, şekerleri, organik ve aminoasitleri, alkoller ve tabiki azot bileşiklerinin içerir. Pek çok homoasetojen NO₃⁻ ve S₂O₃⁻² indirger; ancak CO₂ indirgenmesi ekolojik öneminden dolayı belkide temel reaksiyondur.



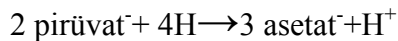
Şekil 2.2. Metanojenesis ve asetojenesis sürecindeki farklılık. Metanojenesiste -136kJ ve asetojeniste -105 kJ serbest enerji (ΔG^0) salınır.

Homoasetojenler arasında temel birleştirici olan CO_2 indirgenme yolizidir. Homoasetojenler CO_2 'i asetil-CoA yolizi ile asetata dönüştürürler ve çoğu homoasetojenler bu yol izi sebebiyle ototrofturlar.

Homoasetojenler glukozu iki molekül pirüvat ve iki molekül NADH'a çevirerek glikolitik yol ile fermente ederler. Bu noktada iki molekül asetat aşağıdaki şekilde üretilmektedir.

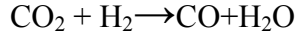


Homoasetat fermentasyonun üçüncü asetatı yukarıdaki reaksiyonda oluşturulan iki molekül CO_2 'in indirgenmesinden oluşur. Glikolizde oluşturulan dört elektronun kullanımına ilave olarak iki pirüvatın iki asetata oksidasyonundan dört elektron oluşturulur. Piruvattan başlayarak asetat üretiminin tamamı aşağıdaki gibidir (Madigan et al., 2006).



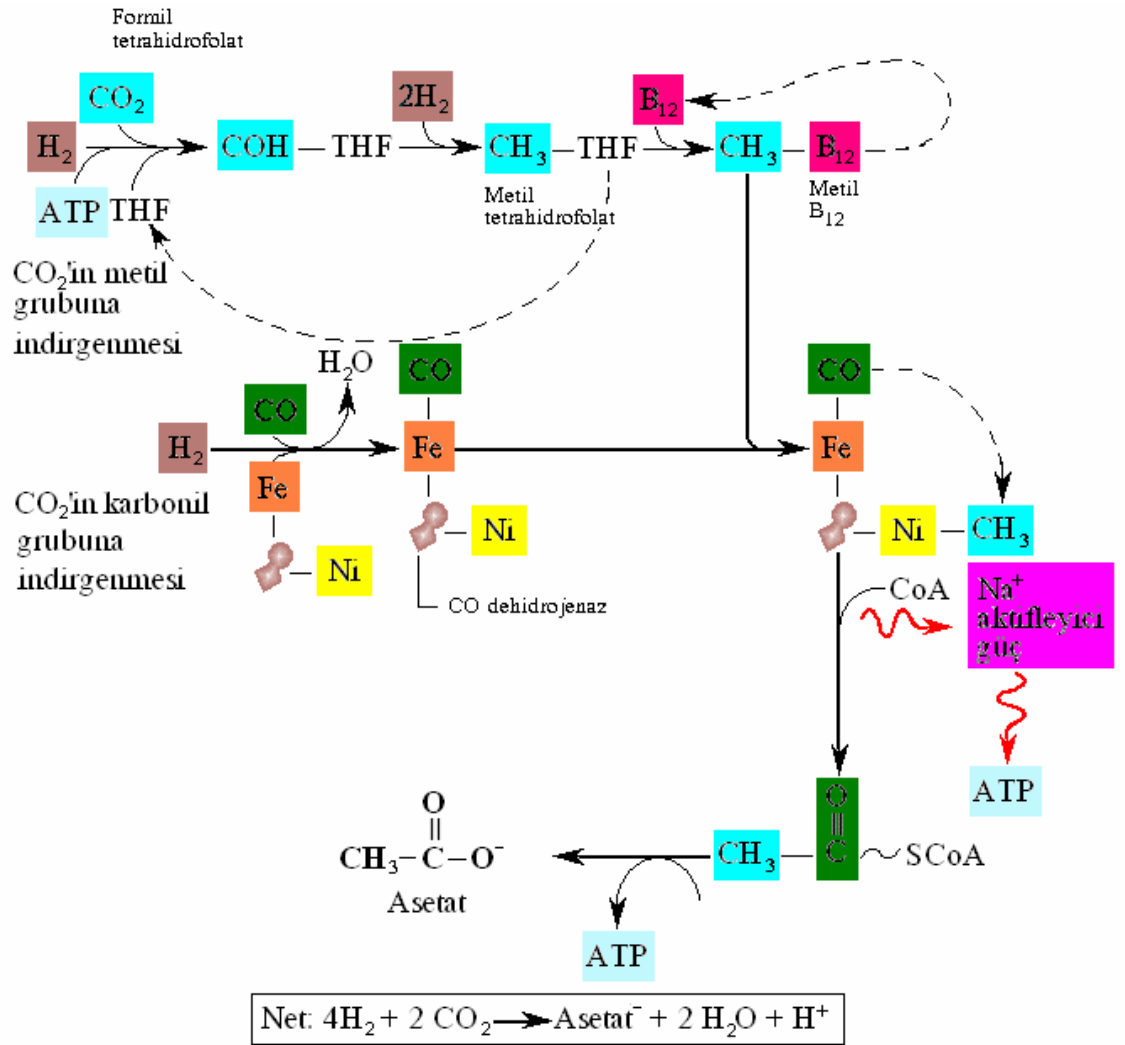
Kalvin döngüsü ya da ters sitrik asit döngüsü gibi diğer ototrofik yolizlerinden farklı olarak, CO_2 fiksasyonunda kullanılan asetil-CoA yolizi bir döngü değildir. Onun yerine iki düz yolizi sayesinde CO_2 in indirgenmesini içerir. Bir molekül CO_2 asetatın metil grubuna indirgenir, diğer CO_2 molekülü ise karbonil gruba indirgenir ve bunu asetil-CoA formunun oluşumu takip eder (Şekil 2.3). Asetil-CoA yolizinde anahtar

enzim CO dehidrojenazdır. CO dehidrojenaz kofaktör olarak Ni, Zn ve Fe metalleri içeren kompleks bir enzimdir. CO dehidrojenaz aşağıdaki reaksiyonu katalizler.



ve asetatın karbonil pozisyonundaki (-COO⁻) CO oluşumunu katalizler. Asetatın metil grubu, koenzim tetrahidrofolatı içeren bir seri reaksiyon tarafından CO₂'in indirgenmesinden orjinlenir. Oluşturulan metil grubu daha sonra kofaktör olarak vitamin B₁₂ içeren enzime transfer edilir (Şekil 2.3). Yol izinin son adımında CH₃ grubu CO ile CO dehidrojenazda kombine olur ve asetatı oluşturur. İlginç olarak, reaksiyon mekanizması burada enzimin Fe atomuna bağlı olan CO ile birleşen, enzimin Ni atomuna bağlı CH₃ grubu ile birlikte koenzim A katılımlarını içerir ve son ürün olarak asetil-CoA oluşturulur. Gerçekte bu olaydaki önem bu reaksiyon mekanizmasının biyokimyada keşfedilmiş ilk alkil nikel reaksiyon olmasıdır.

Homoasetojenler, asetil-CoA yol izi reaksiyonları ile gelişebildiği için bu reaksiyon serisi enerji koruyuculardan biri olmalıdır (Şekil 2.3). ATP sentezinin bir bölümü asetil CoA'nın asetat ve ATP'ye dönüşümü sırasındadır (asetil-P aracılığıyla). Bununla birlikte, ilave enerji korunum adımları oluşur. Çünkü asetojenesis sırasında sitoplazmik membranın karşısında Na⁺ gradiyenti (Na⁺ aktifleyici kuvvet, proton aktifleyici kuvvete anaogdur, fakat H⁺ yerine Na⁺ ı içerir) kurulur. Membranın bu enerjili kısmı ATPaz ile güçlendirilmiş Na⁺'un hareketi aracılığı ile enerji korunumunu sağlar. Benzer durum süksinat fermente eden *Propionigenium*da da gerçekleşir (Madigan et al., 2006).



Şekil 2.3. Asetil-CoA yolizi reaksiyonları.

2.5.1.3. Methanojenesiz

Metanın biyolojik üretimi, metanojenler olarak adlandırılan Archaea'nın zorunlu anaerobik bir grubu tarafından gerçekleştirilir. Methanojenesiz üzerindeki araştırmalar, metanın biyolojik üretiminin yeni koenzimleri ve şaşırtıcı kompleksliği içeren reaksiyonlar serisi ile gerçekleştiğini göstermiştir.

Methanojenezde anahtar koenzimler iki sınıfa ayrılabilir. Birincisi C₁ birimini başlangıç substratı CO₂'den son ürün CH₄'a taşıyanlar, diğer grup ise CO₂'in CH₄'a indirgenmesi için gerekli olan elektronları sağlamak üzere redoks reaksiyonlarında görev alanlar (Şekil 2.4).

Metanofuran koenzimi metanojenezin birinci adımında yer alır. Metanofuran, 5 üyeli furan halkası ve CO₂'e bağlı aminoazot atomu içerir. Metanopterin folik asit vitaminine benzeyen bir metanojenik koenzimdir ve CO₂ in metana indirgenmesinin ara adımlarında C₁ taşıyıcısıdır. Koenzim M (CoM) bir metil grubunun (CH₃) CH₄'e dönüşümü olan metanojenezin son adımında yer alır. C₁ taşıyıcısı olmamasına rağmen, nikel içeren tetrapirel koenzimi F₄₃₀ metil redüktaz enzim kompleksinin bir parçası olarak metanojenezin son adımında yer alır (Madigan et al., 2006).

F₄₂₀ ve 7-merkptoheptanil-trianinfosfat koenzimleri veya koenzim B (CB) metanojenezde elektron vericileridir. Koenzim F₄₂₀ bir flavin türevidir, yapısal olarak yaygın flavin koenzimi FMN'e benzemektedir. F₄₂₀ aynı zamanda metanojenezde CO₂ indirgenmesinin çeşitli adımlarında elektron vericisi olarak bir role sahiptir (Şekil 2.4). F₄₂₀'nin oksitlenmiş formu 420 nm'deki ışığı absorblar ve mavi-yeşil floresan verir ve floresan, metanojen gibi bir organizmanın mikroskopik identifikasyonunda yararlı bir araçtır. CoB, metil redüktaz enzim kompleksi tarafından katalizlenen metanojenezin son adımında yer alır. CoB'nin yapısı oldukça basittir ve pantotenik asit vitaminine (asetil-CoA'nın parçası) benzer (Madigan et al., 2006).

CO₂'in CH₄'a indirgenmesi genellikle H₂'e bağımlıdır, fakat format, karbonmonoksit ve hatta alkoller gibi bazı organik bileşikler CO₂ indirgenmesi için elektronları sağlar. Örneğin bazı türlerde 2-propanol asetona oksitlenerek metanojenez için elektron oluşturur. Fakat genelde, CO₂'ten CH₄ üretimi moleküler hidrojen tarafından yürütülür.

Şekil 2.4'de gösterilen CO₂ indirgenmesindeki adımlar şöyledir.

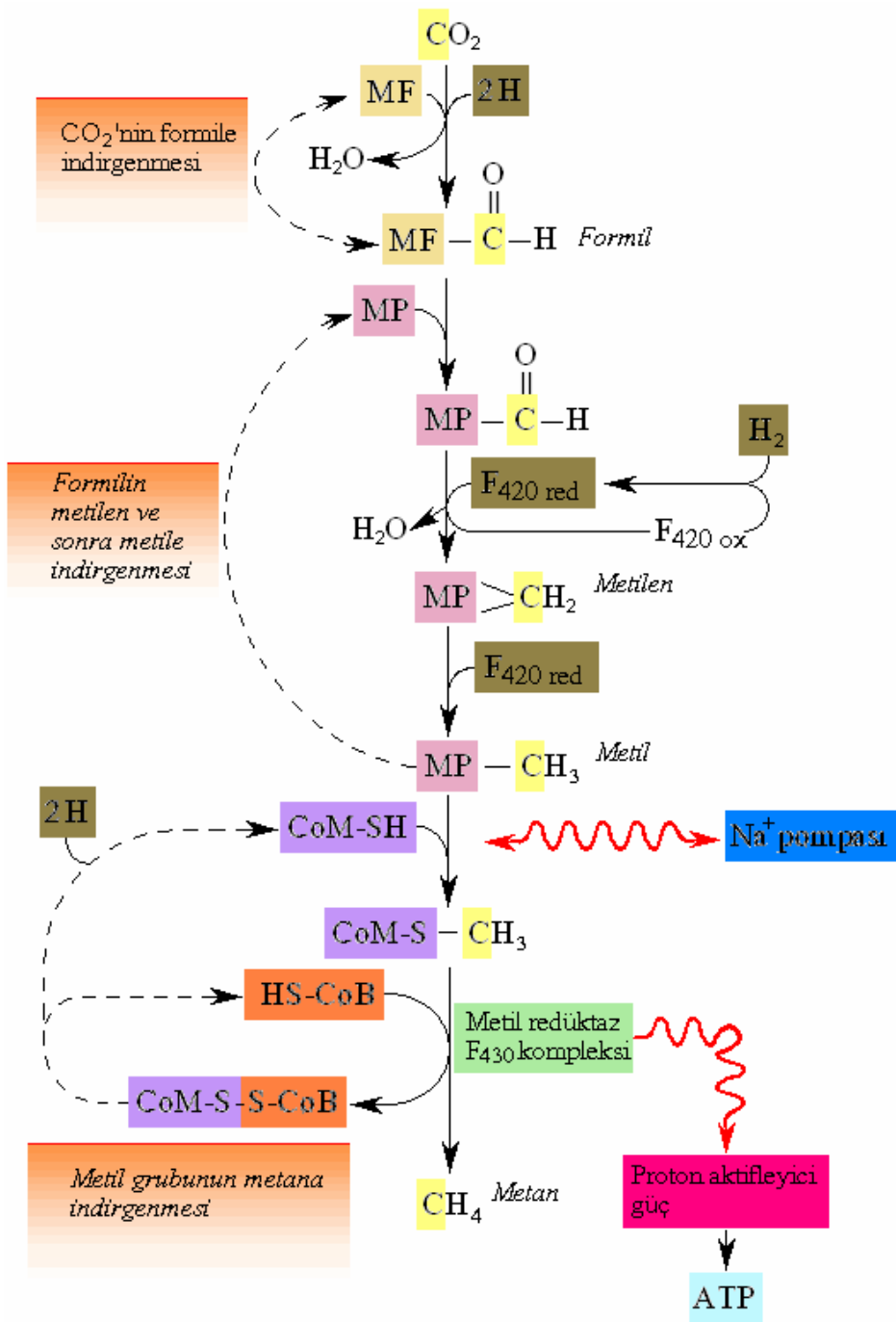
1. CO₂, metanofuran içeren enzim tarafından aktivite edilir ve sonuçta formil seviyesine indirgenir.
2. Formil grup metanofurandan metanopterin içeren enzime transfer edilir ve sonuçta iki ayrı adımla dehidre edilip metilene ve metil seviyelerine indirgenir.
3. Metil grup metanopterinden CoM içeren enzime transfer edilir.
4. Metil CoM, F₄₃₀ ve CoB'ninde yer aldığı metil redüktaz sistemi tarafından metana indirgenir. Koenzim F₄₃₀ CH₃ grubunu CH₃-CoM'den alıp, Ni⁺²-CH₃

kompleksini oluşturur. Bu, CoB'den gelen elektronlara indirgenir, CH₄ ile COM ve CoB'den disülfid kompleksi (CoM-S-S-CoB) oluşur. Serbest CoM ve CoB bu kompleksin H₂ ile indirgenmesiyle yeniden oluşur ve metanojenizde enerji korunumunu sağlayan bu reaksiyondur.

Metan, H₂+CO₂'e ilaveten metillenmiş çeşitli bileşiklerden de meydana gelebilir. Metanol gibi metil bileşikleri, CH₃-korinoid proteini oluşturmak üzere metil grubunu korinoid proteinine vererek katabolize edilir. Korinoidler vitamin B₁₂ gibi bileşiklerin ana yapısıdır ve merkezi kobalt atomu ile birlikte porfirin görünümlü metil grubunu içerir. CH₃-korinoid kompleksi metil grubunu CoM'e vererek, CO₂ indirgenmesinin son adımında olduğu gibi metan oluşturan CH₃-CoM oluşturur. Eğer indirgeyici güç (H₂ gibi) son adımı yürütmek için uygun değilse, elektron oluşturmak için metanolün bir kısmı CO₂'e oksitlenmelidir ve bu metanojenizdeki adımların tersine oluşumu ile gerçekleşir.

Metanojenizde substrat asetat olduğu zaman, ilk olarak asetil-CoA yol izinin karbon monoksit dehidrojenazı ile etkileşime girebilecek olan asetil-CoA'ya aktive edilir. Daha sonra asetatın metil grubu CH₃-korinoidi oluşturmak üzere korinoid enzimine transfer edilir. Bu da metanojenizin CoM aracılığıyla son adımına geçer (Madigan et al., 2006).

Metanojenlerde ototrofi, asetil-CoA yol izi ve asetat ve metanol katabolizmasında yer alan bu yol izinin adımları aracılığıyla gerçekleşir. Bununla birlikte, metanojenler, bir metil grubunun üretimini gerçekleştiren Asetil-CoA yol izinin reaksiyonlarının serisini yürüten tetrahidrofolatdan yoksundur (Şekil 2.4). Metanojenler metil gruplarını direk olarak kendi elektron donörlerinden aldığından veya H₂+CO₂'den metanojeniz sırasında metil grupları yaptığından beri bunlar gerekli değildir. Böylece hücre içerisinde başlangıçlarından itibaren metil grupları bol olarak bulunur. Metanojenlerin ototrofik büyümesi sırasında oluşturulan asetatın karbonil grubu, CO dehidrojenazdan türevlenir ve asetat sentezinin son adımı homoasetojenler için anlatıldığı gibi gerçekleşir (Madigan et al., 2006).



Şekil 2.4. Methanojenesis yol izi

2.5.1.4. Metanojenezde Enerji Korunumu ve Sintrofi

Standart koşullar altında CO_2 'in H_2 'le CH_4 'a indirgenmesindeki serbest enerji değişimi -131 kJ/mol 'dür. Bu en azından bir ATP'nin sentezlenmesi için yeterlidir. Bahsettiğimiz gibi metanojenezdeki enerji korunumu son adıma, metil redüktaz adımına bağlıdır (Şekil 2.3). Bu son adımda CoB'nin $\text{CH}_3\text{-CoM}$ ile etkileşimi, CH_4 'ı ve heterodisülfidi CoM-S-S-CoB 'yi oluşturur. Son kompleks (ikincisinden sonuncusu) F_{420} 'den gelen elektronlarla, CoM-SH ve CoB-SH 'a indirgenir (Şekil 2.4). Heterosülfid redüktaz enzimi tarafından gerçekleştirilen bu indirgenme ekzergoniktir ve proton aktifleyici gücü yaratan protonların membran dışına salınımı ile ilişkilidir. Proton transloke eden ATPaz tarafından gerçekleştirilen proton gradientinin dağılımı, solunumun diğer formlarında gerçekleşen bu prostedeki yolun aynısı ile metanojenez sırasında ATP sentezini gerçekleştirir. Heterosülfid redüktaza elektron akışı membrana bağlı metanofenazin adı verilen tek bir fenazin bileşiğini içerir. Son adımdaki elektron transport prosesindeki, metanofenozin sırası ile indirgenir (F_{420} tarafından) ve daha sonra oksitlenir (sitokrom b tarafından)

Metil bileşiklerinden metanojenez, heterosülfid redüktaz proton pompasına bağlıdır, fakat ilave bir faktör içerir. Daha öncede bahsedildiği gibi, H_2 'nin yokluğunda, CH_3OH gibi bileşiklerden metanojenez, metilin metana redüksiyonu için gerekli elektronları oluşturmak için CH_3OH 'ın bir kısmının CO_2 'e oksitlenmesini gerektirir. Bu, enerji girişimine ihtiyaç duyar ve Na^+ aktif gücün yoğunluğunda gerçekleşir. Bu potansiyelde enerji girişimi, metanojenez sırasında $\text{CH}_3\text{-MP}$ 'nin $\text{CH}_3\text{-COM}$ 'ye dönüşümünden kaynaklanır; tersi reaksiyon enerji harcar ve Na^+ pompası tarafından yürütülür. CO_2 'in metil gruplarının dönüşümündeki ileri oksidatif adımlar, CO_2 'ten CH_4 oluşumunu yöneten enzimatik adımların tersi tarafından ilerletilir (şekil 2.4). Böylece, metanojenlerde 2 tip iyon pompası görülmektedir: Adenozin trifosfat (ATP) sentezini yönetmek için kullanılan tipik proton pompası ve metil grup oksidasyonunu yönetmek için fonksiyon gösterebilen ters Na^+ pompası (Madigan et al., 2006).

Kompleks organik maddelerin metana dönüşümündeki anahtar organizmalar ikincil fermenterler, özellikle de H₂-üretici yağ asidi oksitleyici sintrofik bakterilerdir. Örneğin *Syntrophomonas wolfei* asetat, CO₂ (eğer yağ asidi düzensiz sayılarda karbon atomu içeriyorsa) ve H₂ oluşturarak C₄'ü C₈ yağ asitlerine oksitler. *Syntrophomonas*'ın diğer türleri bazı doymamış yağ asitlerini de içeren C₁₈'in üzerindeki yağ asitlerini kullanır. *Syntrophus gentiane* aromatik bileşik benzoatı, asetat, H₂ ve CO₂'e parçalarken, *Syntrophobacter wolinii* propionat oksidasyonu ile özelleşir ve asetat, CO₂ ve H₂ oluşturur. Bu reaksiyonlar, H₂ tüketici partneri ile birlikte yardımcı kültürdeki sintrofinin yoğun büyümesini destekler, fakat saf kültürde desteklemez.

Partner organizma tarafından H₂ tüketimi, yağ asidi oksitleyici sintrofik bakterinin büyümesi için önemlidir. Çizelge 2.2'teki reaksiyonlar standart koşullar altında tüm reaktantlarla birlikte yazıldığında (solüteler, 1M; gazlar 1 atm), reaksiyonlar pozitif olan serbest enerji değişimlerini oluşturur. Bu reaksiyonların ΔG° 'i serbest enerjiyi bırakmaz (Çizelge 2.2). Fakat partner bakteri tarafından H₂ tüketimi, büyümeyi desteklemek için sintrofi içerisindeki yeterli enerji korunumuna izin vererek enerjistik tabloyu değiştirir. H₂ derişimi partner organizmasının aktivitesi ile düşük seviyelerde tutulduğunda ΔG değerlerinin (habitatda gerçek koşullar altında serbest enerji değişiminin ölçüsü) enerji korunumu için uygun oldukları çizelge 2.3'te görülebilir. Böylece, öncül fermenterlerin, sintrofinin ve onların H₂ tüketicisi partnerlerinin kombine aktiviteleri aracılığıyla hemen hemen her organik bileşik anoksik habitatlarda parçalanabilir. Son ürünler CO₂ ve CH₄ 'dır. Hatta bu doymuş hidrokarbonları da içerir (Madigan et al., 2006).

Çizelge 2.2. Organik bileşiklerin metanoanoksik dönüşümünde oluşan temel reaksiyonlar

Reaksiyon tipi	Reaksiyon	Serbest değişimi ΔG^{0b}	enerji ΔG^c
Glukozun asetat, H ₂ ve CO ₂ 'e fermentasyonu	Glukoz+4H ₂ O→2asetat ⁻ +2HCO ₃ ⁻ +4H ⁺ + 4H ₂	-207	-319
Glukozun butirat, CO ₂ ve H ₂ 'e fermentasyonu	Glukoz+2H ₂ O→butirat ⁻ +2HCO ₃ ⁻ +2H ₂ + 3H ⁺	-135	-284
Butiratin asetat ve H ₂ 'e fermentasyonu	Butirat ⁻ +2H ₂ O→2 asetat ⁻ +H ⁺ +2H ₂	+48,2	-17,6
Propionatin asetat, CO ₂ ve H ₂ 'e fermentasyonu	Propiyonat ⁻ +3H ₂ O→asetat ⁻ + HCO ₃ ⁺ + H ⁺ + H ₂	+76,2	-5,5
Etanolün asetat ve H ₂ 'e fermentasyonu	2 etanol + 2H ₂ O→2asetat ⁻ + 4H ₂ + 2H ⁺	+19,4	-37
Benzoatın asetat, CO ₂ ve H ₂ 'e fermentasyonu	Benzoat ⁻ +6H ₂ O→3asetat ⁻ + 2H ⁺ + CO ₂ + 3H ₂	+47	-18
H ₂ +CO ₂ den metanojenesis	4H ₂ +HCO ₃ ⁻ +H ⁺ →CH ₄ + 3H ₂ O	-136	-3,2
Asetatdan metanojenesis	Asetat ⁻ +H ₂ O→CH ₄ + HCO ₃ ⁻	-31	-24,7
H ₂ +CO ₂ den asetojenesis	4H ₂ +2HCO ₃ ⁻ +H ⁺ →asetat ⁻ + 4H ₂ O	-105	- 7,1

2.6. Anaerobik Süreçleri Etkileyen Çevresel Faktörler

Anaerobik süreçler aerobik süreçlere kıyasla çevresel faktörlerin değişimine karşı oldukça duyarlıdır. Özellikle çevresel faktörlerdeki ani değişimler sistem veriminin büyük ölçüde azalmasına neden olabilmektedir. Bunun başlıca sebebi de, atıkların stabilizasyonunda çok etkili olan metan bakterilerinin çevre koşullarına hassas olmasıdır.

2.6.1. Sıcaklık

Anaerobik süreçler sıcaklık değişmelerine karşı çok duyarlıdır. Ani yapılan sıcaklık değişmeleri sistem üzerinde şok etkisi yapar ve mikroorganizmaların faaliyetlerini tamamen durdurabilir.

Mezofilik bakteriler için optimum sıcaklık literatürlerde 30-37°C aralığında verilmektedir. Organik maddelerin anaerobik arıtımı sürecinde, giderim hızı sıcaklığa bağlı olarak aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (Gönenç vd., 1985).

$$r_n, T_1/r_n, T_2 = e^k(T_1 - T_2)$$

Bu eşitlikte;

r_{n,T_1} = T_1 sıcaklığında organik madde giderim hızı (g KOİ/gUAM-gün)

r_{n,T_2} = T_2 sıcaklığında organik madde giderim hızı (g KOİ/gUAM-gün)

k = Sabit ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) (Mezofilik bakteriler için $0.1\ ^{\circ}\text{C}^{-1}$ olduğu hesaplanmıştır).

T_1, T_2 = Sıcaklık

2.6.2. Besin maddeleri

Anaerobik süreçlerde hücre gelişmesi için, temel besin madde gereksinimi (N,P) aerobik süreçlere kıyasla daha az olmaktadır. Speece ve McCarty (1964) anaerobik süreçlerde oluşan biyokütlenin N ve P bileşimini sırasıyla %10.5 ve %1.5 olarak hesaplamışlardır. Anaerobik süreçlerde toplam KOİ'nin %10'unun hücre sentezinde kullanıldığı varsayılarak toplam KOİ'nin %1'i ve %0.15'i oranında azot ve fosforun yeterli olacağı öngörülmektedir. Nitekim bu yönde yapılan çalışmaların sonucu olarak anaerobik süreçlerde uygulanan KOİ/N/P oranı 300/7/1 olarak verilmektedir (Gönenç vd., 1985).

Anaerobik süreçlerde, biyokütlenin metabolik etkinlikleri için temel element niteliğindeki N, P dışında bazı eser elementlerin varlığı bakteriyal aktiviteyi artırmaktadır. Anaerobik süreçlerin verimini artıran eser elementlerin yararlı konsantrasyon değerleri ve etkileri Çizelge 2.3'de verilmektedir (Speece, 1983; Gönenç vd., 1985).

Çizelge 2.3. Anaerobik süreçlerde eser elementlerin yararlı konsantrasyon değerleri ve etkileri

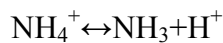
Element	Yararlı Konsantrasyon (mg l^{-1})	Etkileri
Fe	200	Sülfür çökmesi
Ni	10	Aktivite artışı
Mg	10-20	Yumaklaşma
Ca	10-40	Yumaklaşma
Ba	10-100	Yumaklaşma
Co	10	Vitamin B ₁₂
SO ₄	20	Aktivite artışı

2.6.3. İnhibisyon ve zehirlilik

Organik ve inorganik bileşiklerin belirli konsantrasyonların üzerinde atık suda bulunması, biyolojik süreçlerde biyokütlenin metabolik etkinliğinin yavaşlamasına ve hatta durmasına neden olabilmektedir. Organik ve inorganik yapıdaki çok sayıda bileşiklerin anaerobik bakteriler üzerindeki etkileri yönünde birçok çalışma yapılmış ve bu bileşiklerin anaerobik mikroorganizmaların etkinliklerini yavaşlatan ve durduran kritik konsantrasyon değerleri saptanmıştır. Anaerobik arıtım sürecinde zehirlilik etkisi olan bir kimyasal madde ile karşılaşan biyokütlenin, bu maddeye alışması söz konusu olabilmektedir. Aerobik süreçlerde arıtımı olanaksız klorlu-fenol bileşiklerinin belirli bir alıştırmaya devresinden sonra anaerobik süreçlerle arıtımının olanaklılığı literatürlerde verilmektedir (Speece, 1983; Gönenç vd., 1985).

Bazı metal iyonlarının düşük miktardaki konsantrasyonları bakteriyal etkinlikleri artırırken, belirli konsantrasyon değerlerinin üzerinde prosesi inhibe edebilmektedir. Metal iyonlarının sistemde aynı anda birlikte bulunmaları durumunda inhibisyon etkisinin azalması veya artması söz konusu olabilmektedir.

Organik maddenin anaerobik reaksiyonlar sonucu bozunması sürecinde maddenin yapısındaki organik azot, amonyağa dönüştürülmektedir. Amonyak sistemin pH'ına bağımlı olarak sistemde NH_4^+ iyonu halinde ve iyonlaşmış yapıda bulunmaktadır.



Özellikle düşük hidrojen iyonu konsantrasyonlarında yukarıda verilen denge iyonlaşmamış (NH_3) konsantrasyonu lehinde değişmektedir. İyonlaşmamış NH_3 anaerobik bakteriler için zehirli etki içermekte olup kritik konsantrasyonu $100\text{-}200 \text{ mg l}^{-1}$ 'dir. Anaerobik süreçlerde inorganik yapıdaki SO_4^{2-} ve organik sülfür bileşiklerinin S^{-2} e çevrilmesi sistemde S^{-2} inhibisyonuna neden olmaktadır. Sistemde mevcut toplam S^{-2} 'nin ($\text{H}_2\text{S} + \text{HS}^- + \text{S}^{-2}$) 100 mg l^{-1} konsantrasyon değeri kritik değer olarak verilmektedir (Speece, 1983). Sistem pH'sının 6,5 değerinin altında olması S^{-2} inhibisyonunu artırmaktadır.

2.6.4. pH

Anaerobik proseslerde en uygun pH aralığı asit bakterileri için 6-7 olarak verilirken, metan bakterileri için en uygun pH aralığı 6,5-7,2 olmaktadır. Bu farklı iki tür bakterinin aynı sistemde faaliyet gösterdiği göz önünde tutulursa anaerobik prosesler için en uygun pH aralığının 6,5-7 olduğu söylenebilir (Speece, 1983; Gönenç vd., 1985; Öztürk vd., 1991). pH'ın 6 değerinin altına düşmesi metan üreten bakteriler için inhibisyona neden olur. pH'ın 8'in üzerine çıkması halinde de ortamda bulunan çözünmüş amonyak inhibisyona neden olur.

2.6.5. Uçucu Asitler

Arıtım işleminin bir ara ürünü olan uçucu asitler, sistemin sağlıklı yürüyüşü hakkında bilgi veren bir ölçüttür. Uçucu asit konsantrasyonu 50-300 mg l⁻¹ aralığında değişim gösterebilir.

Organik maddenin asit bakterileri tarafından uçucu asitlere dönüştürülmesi aşamasında oluşan uçucu asitlerin 1000 mg l⁻¹ değerinin üzerine çıkması sistemde inhibisyona neden olabilmektedir. Özellikle ani yükleme koşullarında oluşacak propiyonik asit, asetik aside göre daha fazla inhibisyon etkisi içermektedir (Gönenç vd., 1985).

2.7. Anaerobik Arıtımda Kullanılan Sistemler ve Özellikleri

Anaerobik arıtım sistemleri endüstriyel atık suların arıtımında son yıllarda oldukça yaygın kullanım alanı bulmuştur. Arıtılacak atık suyun bileşimine bağlı olarak anaerobik arıtım sistemlerinin aerobik arıtım sistemlerine göre tercih edilmesi bu tip sistemlerin aşağıda belirtilen yararları içermesinden kaynaklanmaktadır (Speece, 1983; Gönenç vd., 1985; Öztürk vd., 1991; Lettinga et al., 1997).

1. Sistem için gerekli toplam enerjinin aerobik sistemlere göre daha az olması
2. Yüksek konsantrasyonlarda organik madde içeren atık suların etkin olarak arıtılması
3. Daha az miktarda biyolojik çamur oluşumu
4. Besin maddesi (N, P) gereksiniminin aerobik sistemlere göre daha az olması
5. Son ürün olarak elde edilen metan gazının enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi

6. Kesikli çalışma olanağı

Yukarıda verilen yararların yanında bu tip sistemlerin ilk yatırım maliyetinin aerobik sistemlere göre yüksek oluşu, çevresel faktörlerden (sıcaklık, pH, toksisite) kolayca etkilenmeleri nedeniyle çok sık kontrol gerektirmeleri olumsuzluk gibi görünüyorsa da organik madde konsantrasyonu 4000-5000 mg l⁻¹ KOI'den yüksek atık suların arıtımında en ekonomik seçenektir (Gönenç vd., 1985; Öztürk vd., 1991).

Atık suların arıtımında kullanım alanı bulmuş anaerobik reaktör tipleri aşağıda verilmektedir:

2.7.1. Geleneksel sistemler [(klasik anaerobik çürütücü) (sürekli karıştırılmalı tank reaktörler-continuously stirred tank reactors CSTR)]

Bu tip sistemler daha çok anaerobik çamur çürütme amacıyla kullanılmaktadır. Tam karışım ve geri devirsiz bir reaktördür. Hidrolik kalış süresi ve çamur kalış süresi eşittir. Düşük çoğalma hızına sahip metan bakterilerinin yıkanmasının önlenmesi için çamur yaşının 10 günden az olmaması gerekir. Pratikte bu süre 15-20 gündür. Çok büyük hacim gerektirmesi ve çıkıştaki askıda madde konsantrasyonunun yüksek olmasından dolayı arıtım çamurlarının çürütülmesi dışında endüstriyel atık su arıtımında pek kullanılmamaktadır (Speece, 1983; Gönenç vd., 1985; Öztürk vd., 1991; Lettinga et al., 1997).

2.7.2. Anaerobik kontak sistemler [(anaerobik aktif çamur sistemi) (anaerobic contact process)]

Anaerobik arıtım sistemlerinde organik yükleme miktarını ve biyokütle kalış süresini artırmak, reaktör hacmini küçültmek amacıyla kontak sistemler geliştirilmiştir. Bu sistem sürekli beslenen tam karışım bir reaktör olup çöktürme tankı ve geri devir sisteminden oluşmaktadır. Aktif çamur sistemlerinde olduğu gibi çökeltme tankının tabanından alınan biyokütle reaktöre geri döndürülmektedir. Geri dönüş akımından yapılacak biyokütle deşarjı ile sistemde çamur yaşının istenilen değerde tutulması mümkün olabilmektedir. Bu suretle çamur yaşı artırılarak sistemin arıtım veriminin yükseltilmesi hacminin azaltılması sağlanmaktadır. Bu sistemin uygulamadaki en önemli problemi anaerobik çamurların çöktürülmesindeki zorluklardır (Gönenç vd.,

1985; Öztürk vd., 1991; Türker, 2003). Anaerobik kontak reaktörleri için organik yükleme hızları (OYO) 1-5 kg KOİ/m³gün arasında değişmektedir (Türker, 2003).

2.7.3. Sabit yataklı filtreler (packed bed filter)

Yapılan çalışmalarda dolgu maddesi kullanılarak biyolojik büyümenin inert katı madde üzerinde (taş, plastik, vb.) gerçekleşmesi ile yüksek çamur kalış sürelerinin elde edilmesi olanaklıdır. Anaerobik filtre sistemlerinde birim reaktör hacmine düşen biyokütle miktarını artırmak amacıyla yüksek boşluk hacmi sağlayacak dolgu maddesi kullanılmaktadır. Bu sistemlerin en önemli yararı istenilen hidrolik rejimde çalışma olanağının işletme koşullarına bağlı olarak ayarlanabilmesidir. Atık suda mevcut askıda katı maddelerin filtre boşluklarında tutulması oldukça yüksek arıtım verimlerinde çalışma olanağı sağlamasına rağmen yüksek oranda askıda katı madde içeren atık suların sistemde yaratacağı tıkanma tehlikesinden dolayı filtre sistemlerinde arıtılmaları uygun olmamaktadır. Sistemde oluşan biyokütlenin olası tıkanmalara neden olmaması için çamur uzaklaştırma işlemlerinin sistemin tasarımı aşamasında düşünülmesi gerekmektedir (Speece, 1983; Gönenç vd., 1985; Öztürk vd., 1991; Öztürk vd., 1994; Lettinga et al., 1997). Bu sabit film (fixed film) reaktörleri ilk kez 1970'de endüstriyel boyutta uygulanmaya başlanmış ve organik yükleme hızları (OYH) 0.2-16 kg KOİ/m³gün arasında değişmektedir (Minke and Rott, 1999; Del Pozo and Diez, 2003; Türker, 2003).

2.7.4. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı (YAAÇY) (Upflow Anaerobic Sludge Blanket -UASB)

Son yirmi yılda yapılan gelişmelerin en önemlilerinden biri de yukarı akışlı anaerobik çamur reaktörünün geliştirilmesidir. Bu sistemde reaktör içinde mikroorganizmalar yumaklaşarak gelişmekte ve kolayca çökebilen 1-5 mm boyutunda granüller oluşturmaktadır. YAAÇY reaktöründe üç bölge ayrılmaktadır:

- çamur yatağı bölgesi
- çamur örtüsü bölgesi
- çöktürme ve ayırma bölgesi

Çamur yatağı bölgesini son derece yoğun olarak dağılmış granül çamur parçacıkları oluşturmaktadır. Yatak içinde, tabanda iyi bir dağıtımla reaktöre beslenen ve yukarıya doğru yükselen atık su ile oluşan gaz kabarcıkları bir karışım yaratmakta ise de, bu bölge içinde akış piston akımlı kabul edilmektedir. Oluşan gaz biyokütle ile substratın yeterli temasını sağlayabilmektedir. Çamur örtüsü bölgesi çamur yatağından kaçan çamur parçacıklarının yer aldığı, oluşan gaz kabarcıklarıyla çok iyi karışan bir bölgedir.

Çöktürme bölgesinde durgun hacimler yaratılarak özel bir gaz-sıvı-katı ayırıcı ile çamur parçacıkları çöktürülerek ve gaz katı ayırıcısının eğimli yüzeyine sürtünerek reaktöre geri gönderilmektedir. Ayrılan sıvı ve gaz ise dışarı atılmaktadır. Sistemde oluşan gaz, gaz-su ara yüzeyinin korunduğu özel bir toplayıcı ile uzaklaştırılarak bir su kapanına yolların. Yüzen çamur partikülleri kendilerine tutunan gaz kabarcıklarını bu ara yüzeyde bırakır. Tıkanmaları önlemek için ara yüzey yeterince geniş tutulur (Gönenç vd., 1985; Öztürk vd.,1991).

YAAÇY reaktöründe mekanik karıştırma yoktur. Karışma çamur tabakası ve atık suyun teması ile üretilen biyogazın etkisiyle gerçekleşir. YAAÇY reaktörleri bugün anaerobik arıtmada en yaygın olarak kullanılan reaktörlerdendir (Ulrix, 1994; Öztürk vd., 1994; Ubay and Öztürk, 1997; Demirer and Speece, 1998; Jenicek et al. , 1999; Fang and Wai-Chung, 1999; Ergüder et al., 2001; Tezel et al., 2001; Deveci and Çiftçi, 2001; Martinez et al., 2002; Uzal et al., 2003; Ergüder et al., 2003). Organik yükleme hızları 5- 15 kg KOİ/m³gün arasında değişmektedir (Türker, 2003).

2.7.5. Anaerobik akışkan yataklı reaktör (Anaerobic fluidized bed reactor)

Bu tip sistemlerde biyokütle akışkan haldeki kum, antrasit, aktif karbon gibi tanecikli yatak malzemesi üzerinde tutunur. Biyokütle ile kaplı olan taşıyıcı, reaktörün içinde atık su ile akışkanlaştırılır. Tutuklamanın amacı, reaktör içinde yüksek biyokütle konsantrasyonları sağlayarak birim hacimde giderilen KOİ miktarını artırmaktır. Biyofilm oluşumu ve aşırı büyüyen biyokütlenin matrizen kopması dinamik bir olay olduğunda kontrolü zordur ve bu reaktör içinde farklı yoğunlukta tutuklanmış granüllerin oluşumuna ve yatağın katmanlaşmasına neden olur. Atık sudaki partikül madde, akışkan yatağın hidrodinamiğini bozduğu için istenmemektedir. Çok yüksek

yükler uygulanabilen bu sistemin en önemli sakıncası yatağı akışkan halde tutmak için yaptırılan geri devir sebebiyle maliyetin yüksek oluşudur. Bununla birlikte özellikle seyreltik atıkların arıtılmasında kullanılma şansı en yüksek anaerobik procestir (Speece, 1983; Gönenç vd., 1985; Öztürk vd.,1991; Türker, 2003). Endüstriyel boyutta 1980'lerde uygulanmaya başlanmıştır. Çeşitli şirketler ABD, Hindistan, Hollanda, Fransa ve Almanya'da akışkan yatak anaerobik arıtma sistemleri kurmuşlardır. Laboratuvar ölçekli çalışmalarda devam etmektedir (Seok et al., 2003a; 2003b; Şen and Demirer, 2003).

2.7.6. Ultrafiltrasyonlu anaerobik reaktör (Membran solids separation)

Ana kısmı tam karışimli olan bu sistemde çökeltme yerine ultrafiltrasyon birimi kullanılmaktadır. Ultrafiltrasyon birimindeki gözenekli sentetik membran üzerinden akarken suyu alınan biyokütle tekrar sisteme geri döndürülmekte ve böylece çamur yaşı istenildiği kadar artırılabilir. Bu sistemler KOI değeri 10000 mg l⁻¹'nin üzerinde çok konsantre ve debisi nisbeten küçük endüstriyel atıklar için uygundur (Gönenç vd., 1985; Öztürk vd., 1991).

2.7.7. Genişletilmiş granül çamur yatak reaktör (GGÇY) (Expanded Granular Sludge Bed- EGSB)

Akışkan yatak reaktörleri ile YAAÇY'nin avantajlarını birleştiren yeni bir reaktör tipidir. Çalışma prensibi YAAÇY'de olduğu gibi granül biyokütleyle dayanır, fakat akışkan yatağın aksine tutuklanma için taşıyıcı kullanılmamaktadır. Reaktör içine yerleştirilen separatör ile gaz, sıvı ve biyokütle birbirinden ayrılmaktadır (Speece, 1983, Lettinga et al., 1997).

2.8. Anaerobik Biyoteknolojinin Türkiye'deki Uygulamaları

Anaerobik biyoteknolojinin Türkiye'deki ilk endüstriyel uygulamaları 1980'lerde ortaya çıkmaya başlamıştır. Çizelge 2.4'de Türkiye'de mevcut anaerobik arıtma sistemlerinin listesi yer almaktadır. Tesislerin sektörlere göre dağılımına bakıldığında en çok uygulamanın gıda endüstrisinde olduğu görülmektedir. Gıda dışındaki uygulamalar, çöp sızıntı suyu arıtması, kimya, selüloz, kağıt ve tekstil şeklindedir. En çok tercih edilen reaktör tipi YAAÇY reaktörüdür, fakat bununla

birlikte bir adet anaerobic filtre (AF) ve iki adet kontak reaktör (AKR)'ün kullanıldığı görülmektedir. En çok tercih edilen YAAÇY reaktörünün yanı sıra son yıllarda bu reaktörün gelişmiş şekli olarak kabul edilen GGÇY reaktörün üç tesiste kullanıldığı görülmektedir (Türker, 2003).

Çizelge 2.4. Türkiye’de anaerobik biyoteknolojinin uygulamaları

Sektör	Firma Adı	Yeri	Yıl	Kapasite (m ³)	Reaktör tipi
Tekstil	Mensucat Santral	Edirne	1988		YAAÇY
Kağıt	Modern Karton	Çorlu	1991	9000	AKR
Kağıt	Modern Karton	Çorlu	2000		GGÇY
Maya	Mauri	Bandırma		22000	
Maya	Pakmaya	İzmit	1984	13000	YAAÇY
Maya	Pakmaya	Düzce	1991	19000	YAAÇY
Maya	Pakmaya	K.Paşa	1988		YAAÇY
Patates	Uzay Gıda	İzmit	1998	600	YAAÇY
Patates	Bolpat	Bolu	1997	300	YAAÇY
Süt	Tek Süt	Gönen		300	YAAÇY
Süt	Astosan	Gönen		300	YAAÇY
Bira	Güney Biracılık	Adana	1998	600	GGÇY
Bira	Güney Biracılık	Ankara	1994	600	YAAÇY
Bira	Erciyes Biracılık	Lüleburgaz	2000		GGÇY
Bira	Ege Biracılık	İzmir	Devam ediyor		GGÇY
Alkol	Tekel	Çanakkale	1992		
Alkol	Tekel	Paşabahçe	1993	140	YAAÇY
Alkol	Tekel	Tekirdağ		140	YAAÇY
Sitrik Asit	Fürsan	İzmit	1987	2800	AKR
Dondurma	Unilever Algida	Çorlu	1993	290	AF
Çamur	İSKİ	Tuzla/İST.	Devam ediyor	60000	Çamur
Çürütme					Çürütme
Depone	İSKİ	Kemerburgaz			
Çamur	ASKİ	Ankara		10000	Çamur
Çürütme					Çürütme
Süt	SEK	İstanbul			YAAÇY
Sentetik Elyaf-DMT	SASA	Adana	1999	2000	GGÇY
Mısır	Cargill	Orhangazi	1998		GGÇY
Gıda	Kent Gıda	Gebze	2002	1000	AF
Gıda	Aromsa	Gebze	2000	30	YAAÇY
Şeker	Ereğli	Ereğli	2000	8000	ANAMET

2.9. Anaerobik Biyoteknolojinin Dünya’daki Uygulamaları

Avrupa ülkelerinde anaerobik reaktör sayısı her yıl hızla değişmektedir ve bütün ülkeleri kapsayan karşılaştırmalı bir analiz yapmak zordur. Avrupa Birliğinde 1994 yılı

itibariyle 397 endüstriyel anaerobik arıtma tesisi olduğu bildirilmiştir. Ülkelere göre anaerobik arıtma tesislerinin dağılımı Çizelge 2.5’de gösterilmektedir. En fazla anaerobik arıtma tesisi sırasıyla, Almanya, Hollanda, Fransa ve İtalya’da bulunmaktadır. Aynı çizelgede Avrupa ve Türkiye’de birim alana ve birim nüfus başına düşen tesis sayıları verilmiştir. Türkiye, bir milyon kişiye düşen anaerobik arıtma tesisi açısından Avrupa ülkelerinin en gerisindedir (Türker, 2003).

Dünya’da kullanılan anaerobik arıtma tesislerinin sektörlere göre dağılımı Çizelge 2.6’da verilmektedir. Bu dağılım Türkiye ile benzerlik göstermektedir. En yoğun kullanım tarım-gıda sektöründedir .

Çizelge 2.5. Avrupa’da 1994 yılı itibariyle endüstriyel arıtma tesislerinin ülkelere göre dağılımı

Ülke	Adet	Adet/1000 km ²	Adet/10 ⁶ kişi
Almanya	99	0,25	1,40
Hollanda	83	2,40	5,60
Fransa	55	0,11	1,00
İtalya	50	0,15	0,80
Belçika	25	0,80	2,60
İngiltere	25	0,11	0,50
İspanya	23	0,07	0,60
Danimarka	18	0,45	3,90
Türkiye	17	0,02	0,28
Portekiz	7	0,09	0,40
İrlanda	5	0,09	1,50
Yunanistan	4	0,02	0,40

Çizelge 2.6. Dünya’daki anaerobik arıtma tesislerinin sektörlere göre dağılımı
(Frankin,2001)

Uygulama	Tesis (adet)	%
Gıda (Bira, meyve suyu, alkol gibi)	926	76
Kimya Sanayi	63	5
Kağıt Sanayi	130	11
Çöp Sızıntı Suyu	20	2
Diğer	76	6

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Atık sular

Bu çalışma Eskişehir il sınırları içinde olup Porsuk Havzası'nda yer alan tarıma dayalı sanayilere ait atık suları kapsamaktadır. Bu doğrultuda öncelikle Eskişehir Organize Sanayi Bölgesinde bulunan kuruluşlar belirlenmiştir. Organize Sanayi Bölgesi'nde yer almayan kuruluşlar ise Eskişehir Sanayi Odasına kayıtlı listeden taranmıştır. Fabrikaların listesi Çizelge 3.1 ve 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Eskişehir Organize Sanayinde yer alan tarıma dayalı kuruluşlar

Kuruluşun Adı	Üretim Konusu
Aslan Susam ve Tahin Gıda Mad.San. ve Tic. Ltd.Şti.	Susam ,tahin
Cicisan Gıda San. ve Tic. A.Ş.	Şekerleme, çikolata, reçel, gofret
Doğuş Çay San. ve Tic. A.Ş.	Küp şeker
Eti Gıda A.Ş.	Bisküvi
İmamoğlu Un San ve Tic A.Ş.	Un
Oğuzlar Tarım Ürünleri San. ve Tic. A.Ş.	Karma yem
Peyman Kuru Yemiş Gıda Aktariye Kim. Mad. Tarım Ürün San.	Kuruyemiş imali
Pınar Süt Mamülleri San. A.Ş.	Süt ve mamülleri
Saf Yem San. ve Tic. A.Ş.	Karma yem
Tam Gıda San. ve Tic. A.Ş.	Muhtelif cins bisküvi, kek
Yasin-Çakır Un San. ve Tic. A.Ş.	Un ve yan mamülleri

Çizelge 3.1 ve 3.2'de yer alan endüstriyel kuruluşlardan işlem sonunda çıkan ham atık sudan 2 saatlik kompozit örnekler alınmıştır.

3.1.2. Kuruluşlar hakkında elde edilen bilgiler

Aslan Susam ve Tahin Gıda Mad. San. ve Tic. Ltd.Şti: 1997 yılından beri faaliyet göstermekte olup, susam ve tahin üretimi yapılmaktadır. İşlem basamakları sırasıyla (i) su dolu havuza susam yatırılması, (ii) soyma makinalarına alma, (iii) kurutma işlemi, (iv) pişirme işlemi, (v) soğutma işlemi şeklindedir. Atık su oluşumu ilk basamakta

olup, kepek oranı yüksek bir atık su deşarjı vardır.. Atık su havuz çıkışından alınmıştır. İşletmede arıtım tesisi yoktur.

Cicisan Gıda San. ve Tic. A.Ş.: Fabrika yaklaşık 2 yıldan beri üretim yapmadığından değerlendirmeye alınmamıştır.

Çizelge 3.2. Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi dışında yer alan tarıma dayalı kuruluşlar

Kuruluşun Adı	Üretim Konusu
Anarlar San ve Tic Koll. Şti.	Un ve ürünleri
Atık Gıda ve İhtiyaç Maddeleri Tic. Ltd.Şti.	Kadayıf, Kemalpaşa, gofret
Çelikler Turizm ve Gıda San. ve Tic.Ltd. Şti.	Et ve et ürünleri
DanoneSa Tikveşli Süt Ürünleri San.Tic.A.Ş/Çifteler	Süt ve mamülleri
Güney Süt Diyarı	Süt ve mamülleri
Demircanlar Yağ Sanayi Gıda ve İht. Maddeleri Tic.A.Ş.	Rafine ve vinterize ayçiçek yağı, ayçiçek küspesi
Erden Gıda San. ve Tic. A.Ş.	Şekerleme, çikolota, reçel ve marmelat üretimi
Eskişehir Un ve Tarım Ürünleri Metal San. ve Tic. Ltd.Şti.	Un ve undan üretilmiş gıda ve mamüllerinin imalatı
ESYEM Eskişehir Yem Sanayi A.Ş.	Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan karma yemi üretimi
Gökay Soğuk Hava Tesisleri San. ve Tic. Ltd.Şti.	Şoklanmak suretiyle dondurulmuş sebze- meyve
Güven Süt San. ve Tic. A.Ş./Çifteler	Süt ve mamülleri
Kükrrer Gıda ve İhtiyaç Mad. Nak. Özel Eğ.Hiz. Tic. ve San.Ltd. Şti.	Sirke Sirke, limon sosu, şalgam suyu, salata sosları imalatı ve ticareti
T.Şeker Fab. A.Ş. Eskişehir Şeker Fab.	Şeker, etil alkol

Doğuş Çay San. Ve Tic. A.Ş.: Bu fabrikada günde yaklaşık 60 ton toz şeker küp şeker haline dönüştürülmektedir. Bu aşamalarda atık su oluşumu yoktur. Eskişehir fabrikasında çay üretimi yapılmamaktadır. Atık su oluşumu olmadığı için değerlendirmeye alınmamıştır.

İmamoğlu Un San ve Tic A.Ş., Buğdaydan un eldilen bu fabrikada atık su oluşumu buğday yıkanması aşamasında olmaktadır. 24 saat çalışan bir işletme olup günde yaklaşık 150 ton buğday işlenmektedir. Bu fabrikada basit bir çökeltme havuzu bulunmaktadır. Atık su bu havuzdan önce alınmıştır. İmamoğlu Un San ve Tic A.Ş ile benzer şekilde çalışan *Yasin-Çakır Un San. ve Tic. A.Ş., Anarlar San ve Tic Koll.*

Şti.'den KOİ değerinin yüksek çıkmayacağı göz önüne alınarak atık su alımı yapılmamıştır.

Oğuzlar Tarım Ürünleri San. ve Tic. A.Ş.: İşletme melas katkılı hayvan yemi üretimi yapmakta olup, saatte 20 ton kapasiteyle çalışmaktadır. Üretim aşamalarında atık su oluşumu yoktur.

Saf Yem San. ve Tic. A.Ş.: Bu işletmede de atık su oluşumu yoktur.

Peyman Kuru Yemiş Gıda Aktariye Kim. Mad. Tarım Ürün San.: Her türlü kuruyemiş ve lokum imal edilmektedir. Yüzeylerin yıkanması esnasında oluşan atık su kanalizasyona verilmektedir. Bu yüzden atık su alınmamıştır.

Pınar Süt Mamülleri San. A.Ş.: 550 ton/gün kurulu kapasiteye sahip olan bir tesistir. Günlük süt, uzun ömürlü süt, meyve suyu, yoğurt (kaymaklı ve homojenize), ayran üretimi yapılmaktadır. Fabrikada üretim kapalı sistem, el değmeden yapılmaktadır. 1000 ton/gün yükü kaldırabilecek bir aerobik arıtım tesisine sahiptir. İnceleme için arıtıma girmemiş ham atık su alınmıştır.

Tam Gıda San. ve Tic. A.Ş., Kek, kraker ve bisküvi üretimi yapılmaktadır. İşlem basamakları; (i) hamur süreci (ii) şekillendirme ve pişirme (iii) paketleme süreci şeklindedir. Yıllık üretim kapasitesi 34000 ton civarındadır. Bu fabrikanın iki farklı noktasından atık su alınmıştır. (1) Ortak olan hamur işleme sürecinden alınan atık su, (2) kek üretim kısmından çıkan atık su. Fabrikanın arıtım tesisi yoktur. Atıklar belediyeye ait olan arıtım tesisine verilmektedir.

Çelikler Turizm ve Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti. Eskişehir Şubesi (Es-Kar Et Kombinasyonu), Fabrika büyük ve küçük baş hayvan kesimi ve kanatlı kesimi olmak üzere iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Fabrikanın günlük genel kesim kapasitesi büyükbaş hayvan için 300 adet, küçükbaş hayvan için ise 2000 adettir. Atık su alımının yapıldığı dönemde hayvan kesim sayısı 40 büyük baş/gün ve 60 küçük baş/gündür. Kanatlı kesim kısmının genel kapasitesi ise saatte 1500 adettir. Ancak örnek alımı sırasında kesim sayısı 2 günde bir yaklaşık 2500 adet hindidir. Fabrikanın biyolojik arıtım tesisi vardır. Arıtım tesisi %50 kapasite ile çalışmaktadır. Atık su örneği arıtım tesisi girişinden alınmıştır.

Demircanlar Yağ Sanayi Gıda ve İht. Maddeleri Tic. A.Ş., Fabrika 1986 yılında kurulmuş olup, ayçiçek, mısır, soya, pamuk yağı üretimi yapmaktadır. Günlük 100 ton çekirdek, 40 ton rafine yağ işlenmektedir. Günde yaklaşık 3 ton atık su deşarj edilmekte olup, çıkan katı atıklar (çekirdek küspesi) yem fabrikalarına verilmektedir. Arıtım sisteminin arızalı olduğu ve üretime ara verildiği bir döneme rastladığı için atık su örneği uzun süredir bekletilen depodan alınmıştır. Atık suya kimyasal arıtım uygulanmaktadır.

Kükreler Gıda ve İhtiyaç Mad. Nak. Özel Eğ.Hiz. Tic. ve San.Ltd. Şti., Sirke, limon sosu, şalgam suyu, salata sosları ve temizlik ürünleri (bulaşık deterjanı, çamaşır suyu) üretimi yapılmaktadır. Yıllık üretim kapasitesi 8000 tondur. Günlük ortalama 25-30 ton sıvı atık, 5 ton katı atık oluşumu vardır. Katı atıklar hayvan yemi olarak değerlendirilmektedir. Bu fabrikada 2003 yılında aerobik arıtım tesisi kurulmuştur. Arıtım tesisi öncesi atık su alınmıştır.

T. Şeker Fab. A.Ş. Eskişehir Şeker Fab., 1932 yılında kurulan “Anadolu Şeker Fabrikaları” kapsamında 1933 yılında Eskişehir Şeker Fabrikası kurulmuştur. Kampanya döneminde günde 7000 ton pancar işlenmekte ve ortalama 1000 ile 1100 ton şeker üretilmektedir. Şeker üretiminin yan ürünü olan melasın değerlendirilmesi için “İspirto Fabrikası” vardır. Günde 200 ton melas işlenerek ortalama 58000 litre alkol, 4.5 ton kuru maya üretilmektedir. Bu fabrikanın 3 farklı noktasından atık su alınmıştır. (a) Pancar yıkama suyu, (b) Dinlendirme havuzu çıkış suyu, (c) İspirto fabrikası atığı (Şlempe). Bu fabrikada da biyolojik arıtım tesisi vardır. Fakat arıtmadan çıkan su deşarj kriterlerini çoğu zaman sağlayamamaktadır.

3.1.3. İnokulum çeşitleri

3.1.3.1. Anaerobik çamur

Kesikli ve sürekli reaktör çalışmalarında kullanılan anaerobik çamur Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi anaerobik arıtım biriminden sağlanmıştır. Kullanımdan önce çamur iyice karıştırılıp, 1 mm por çaplı filtreden süzülmüştür. pH, askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde gibi arıtım açısından önemli özellikleri belirlenmiştir.

3.1.3.2. Rumen sıvısı

Kesikli çalışmaların bazılarında kullanılan rumen sıvısı ES-KAR Et Kombinasyonu kesim yerinden büyükbaş hayvanların rumeninden sağlanmıştır.

3.1.3.3. Aktif çamur

Aerobik arıtımda kullanılan aktif çamur Eskişehir Su ve Kanalizasyon İşletmesi atık su arıtım tesisinin biyolojik arıtım kısmından sağlanmıştır.

3.1.3.4. Küfler

Aerobik arıtımda aşağıdaki küfler kullanılmıştır:

Aspergillus niger NRRL 321

Penicillium decumbens (toprak izolatu) (bölüm stoklarından)

P. crustocum Thom (1930) (Şlempe izolatu) (bölüm stoklarından).

3.1.4 Besiyerleri ve Kimyasal Maddeler

Potato Dekstroz Agar (PDA) (Merck 1.10130)

Patates ekstraktı	4 g
Glukoz	20 g
Agar agar	15 g
Saf su	1000 ml

Yukarıda içeriği belirtilen hazır PDA litreye 39 g olacak şekilde tartılıp agar çözününceye kadar ısıtılır ve 121°C' de 15 dakika 1.5 atm. basıncında steril edilir. Sterilizasyon işleminden sonra, steril petrilere yaklaşık 15-20 ml şeklinde dağıtılır.

Resazurin

Stok çözelti:

Resazurin	0.2 g
Saf su	100 ml

Biyokimyasal metan potansiyel (BMP) çalışmalarında ortama redoks indikatörü olarak (1ml/l olacak şekilde) ilave edilmektedir.

1N NaOH çözeltisi

NaOH	4 g
Saf su	100 ml

1N HCl çözeltisi

HCl (%37'lik)	8,4 ml
Saf su	91,6 ml

BMP denemelerinde ve yağ-gres analizinde atık suların pH'larının ayarlanmasında kullanılmıştır.

Bazal Ortam (BO)

NH ₄ Cl	1200 mg
MgSO ₄ .7H ₂ O	400 mg
KCl	400 mg
Na ₂ S.9H ₂ O	300 mg
CaCl ₂ . 2H ₂ O	50 mg
(NH ₄) ₂ .HPO ₄	80 mg
FeCl ₂ 4H ₂ O	40 mg
CoCl ₂ .6H ₂ O	0,5 mg
KI	0,5 mg
MnCl ₂ 4H ₂ O	0,5 mg
CuCl ₂ .2H ₂ O	0,5 mg
ZnCl ₂	0,5 mg
AlCl ₃ .6H ₂ O	0,5 mg
NaMoO ₄ .2H ₂ O	0,5 mg
H ₃ BO ₃	0,5 mg
NiCl ₂ .6H ₂ O	0,5 mg
NaWO ₄ . 2H ₂ O	0,5 mg
Na ₂ SeO ₃	0,5 mg
Sistein	10 mg
NaHCO ₃	6000 mg
Saf su	1000 ml

Bazal ortam bileşenleri hassas terazide tartılarak saf suda çözündürüldükten sonra atık suya %10 oranında ilave edilmiştir. Bazal ortam, gaz üretimi üzerine besin ve iz metallerin etkisini belirlemek üzere kullanılmıştır (Demirer and Speece, 1998).

KOH çözeltisi

KOH	20 g
Saf su	100 ml

BMP denemelerinde serum şişelerinde oluşan biyogazdaki metan içeriğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Azot gazı

Serum şişelerinde yapılan BMP denemelerinde anaerobik koşulların oluşturulmasında kullanılmaktadır.

Uçucu yağ asitleri (UYA) stok çözeltisi

Asetik asit	2 g
Propiyonik asit	0,5 g
n-Butirik asit	0,5 g
Na ₂ S.9H ₂ O	0,1 g
Na ₂ CO ₃	1,5 g
Saf su	1000 ml

Yukarı akışlı dolgulu yatak reaktör denemeleri sırasında aşı çamurunun alıştırılması aşamasında kullanılmıştır (Soto et al., 1993)

Sülfürik Asit Reaktifi

Derişik sülfürik asit	4 kg
Ag ₂ SO ₄	22 g

Asit şişesinde karıştırılır ve 1-2 gün Ag₂SO₄'ün çözünmesi için beklenir. KOİ deneyinde kullanılmıştır.

Standart Potasyum Dikromat Çözeltisi (0,25 N)

K ₂ Cr ₂ O ₇	12,259 g
Saf su	1000 ml

103°C'de 2 saat kurutulmuş K₂Cr₂O₇ saf suda çözülür. KOİ deneyinde kullanılmıştır.

Ferroin İndikatör Çözeltisi (Merck 1.09161)

KOİ deneyinde kullanılmıştır.

Standart Demir Amonyum Sülfat Titrasyon Maddesi (0,25 N)

Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ . 6H ₂ O	98 g
H ₂ SO ₄	20 ml
Saf su	980 ml

Bu çözelti günlük olarak standart K₂Cr₂O₇ çözeltisine karşı standardize edilir. KOİ deneyinde kullanılmıştır

Cıva sülfat (HgSO₄) (Merck 1.04481)

Fenolftalein İndikatör Çözeltisi

Fenolftalein	5 g
Etil alkol (%95'lik)	500 ml
Saf su	500 ml

Alkalinite ve uçucu yağ asitleri deneylerinde kullanılmıştır (APHA, 1992; Baltacı, 2000).

Metil Oranj İndikatör Çözeltisi

Metil Oranj	0,5 g
Saf su	1000 ml

Alkalinite deneyinde kullanılmıştır (APHA, 1992; Baltacı, 2000).

Cıva Sülfat Çözeltisi

Kırmızı HgSO ₄	8 g
6N H ₂ SO ₄	100 ml

Organik azot deneyinde kullanılmıştır (APHA, 1992; Baltacı, 2000).

Parçalama Reaktifi

K ₂ SO ₄	134 g
Derişik H ₂ SO ₄	200 ml
HgSO ₄ çözeltisi	25 ml
Saf su	775 ml

Organik azot deneyinde kullanılmıştır (APHA, 1992, Baltacı, 2000).

Sodyum Hidroksit-Sodyum Tiyosülfat Reaktifi

NaOH	500g
Na ₂ S ₂ O ₃ .5H ₂ O	25 g
Saf su	1000 ml

Organik azot deneyinde kullanılmıştır (APHA, 1992; Baltacı, 2000).

Borat Tampon Çözeltisi

0,1 N NaOH	88 ml
Sodyum tetraborat çözeltisi (9,5 g Na ₂ B ₄ O ₇ · 10H ₂ O/l)	500 ml
Saf su	412 ml

Organik azot deneyinde kullanılmıştır (APHA, 1992; Baltacı, 2000).

Karışık İndikatör Çözeltisi

Çözelti A	Metil kırmızısı	200 mg
	%95 lik etil alkol	100 ml
	Boya alkolde çözülür.	
Çözelti B	Metilen mavisi	100 mg
	%95 lik etil alkol	50 ml
	Boya alkolde çözülür	

Çözelti A ve B karıştırılır. Aylık olarak hazırlanır.

Organik azot deneyinde kullanılmıştır (APHA, 1992; Baltacı, 2000).

Borik Asit İndikatör Çözeltisi

H ₃ BO ₃	20 g
Karışık indikatör çözeltisi	10 ml
Saf su	990 ml

Aylık olarak hazırlanır.

Organik azot deneyinde kullanılmıştır (APHA, 1992; Baltacı, 2000).

n-Heksan (J.T. Baker, 8044)

Kaynama noktası 69°C dir. Yağ-gres analizinde çözücü olarak kullanılmıştır.

Metil-tert butil eter (Merck, 1.01995)

Kaynama noktası 55-59°C dir. Yağ-gres analizinde çözücü olarak kullanılmıştır.

Sodyum sülfat (Na₂SO₄) susuz

Yağ-gres analizinde kullanılmıştır

3.2. Yöntemler

3.2.1. Anaerobik arıtım uygulanacak atık suların seçimi

Öncelikle Çizelge 3.1’de yer alan kuruluşlardan alınan atık suların KOİ değerleri belirlenmiştir. Anaerobik arıtımın aerobik arıtımla yarışabilmesi için 2500 mg l⁻¹ ve daha yüksek KOİ değerlerinin olması gerekliliği (Öztürk, 1999) göz önüne alınarak bu koşulu sağlayan atık sular için ayrıca Askıda Katı Madde (AKM), Toplam Katı Madde (TKM), Uçucu Katı Madde (UKM), pH ve bazı atık sularda biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) analizleri yapılmıştır.

3.2.2. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ₅)

BOİ, aerobik şartlarda bakterilerin organik maddeleri parçalayarak stabilize etmesi için gereken oksijen miktarıdır. BOİ aerobik oksidasyona dayanmaktadır ve besin maddesi olarak kullanılan organik maddelerin 20 °C’de karışık bir mikroorganizma topluluğu tarafından tüketilen oksijen miktarının ölçümünü içeren bir yöntemdir.

Atık su örneği aşağıda belirtilen aralıklara uygun olacak şekilde BOİ şişelerine konur, şişe ağızlarına yerleştirilen küçük taşıyıcılara CO₂ adsorpsiyonu için iki adet NaOH pelleti ilave edilir ve oxitop takılır. 20°C’de 5 gün inkübasyona bırakılır. Günlük olarak harcanan oksijen miktarı oxitopdan takip edilir ve 5 gün sonunda oxitoptan okunan değer faktör ile çarpılarak sonuç hesaplanır .

Örnek Hacmi (ml)	Ölçme Oranı (mg l ⁻¹)	Faktör
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43,5	0-2000	50
22,7	0-4000	100

3.2.3. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Evsel ve endüstriyel atık suların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacından farklı olarak organik maddenin biyokimyasal reaksiyonlarla değil redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi

esasına dayanır. Atık suların bünyesindeki organik maddeler, kimyasal oksidasyonları için gerekli oksijen miktarı cinsinden belirlenir. Yöntem birkaç istisna dışında tüm organik maddelerin, kuvvetli oksitleyicilerle asit ortamlarda oksitlenebilecekleri esasına dayanmaktadır (APHA, 1992; Özdemir ve Eltem, 2001).

- a) 50 ml atık su örneği KOİ balonuna konur (aynı miktarda saf su şahit örnek olarak işleme alınır).
- b) Üzerine 1 g HgSO₄ katılıp karıştırıldıktan sonra 5 ml H₂SO₄ reaktifi katılarak HgSO₄ çözünene kadar karıştırılıp soğutulur.
- c) 25 ml 0.25 N K₂C_rO₇ çözeltisi ilave edilir ve karıştırılır.
- d) Kalan 70 ml H₂SO₄ KOİ balonunun ağzından ilave edilir.
- e) KOİ balonuna geri soğutucu bağlanır ve 148°C'de 2 saat kaynatılır.
- f) Süre bitiminde KOİ balonu soğutulur, çözelti hacmi distile su ile iki katına kadar seyreltilip oda sıcaklığına kadar soğutulur. Daha sonra 2-3 damla ferroin indikatörü ilave edilir.
- g) Demir amonyum sülfat titrasyon çözeltisiyle titre edilir.
- h) Titrasyon dönüm noktası, mavi-yeşilden kırmızı-kahverengiye doğru ilk renk değişiminin olduğu an esas alınır ve titrasyona son verilir.

KOİ aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$\text{mg KOİ/l} = (A-B) \times N \times 8000 / \text{ml örnek}$$

A: Şahit örnek için kullanılan demir amonyum sülfat çözeltisi miktarı, ml

B: Örnek için kullanılan demir amonyum sülfat çözeltisi miktarı, ml

N: Demir amonyum sülfat çözeltisinin normalitesi

3.2.4. Katı Maddeler

Atık su içinde bulunan organik ve inorganik bileşenler hem çözünebilir hem de çözünemeyen halde bulunurlar. Atık su içindeki bu maddeler askıda katı madde (AKM), toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) olarak üç tipte tanımlanırlar. Toplam katı madde (TKM), AKM ile TÇKM'nin toplamı olarak bilinir. AKM ile TÇKM'nin birbirinden ayrılmasında, kullanılan filtre kağıdının gözenek çapı önemli bir faktördür. Süzme sonunda filtre kağıdı üzerinde hem organik hem de inorganik maddeleri içeren bir katı kalır. Ancak filtre kağıdı 550 °C'de

yakıldığında organik maddeler yanar ve uzaklaşır, geriye kül olarak inorganik kısım kalır (APHA, 1992).

3.2.4.1. Toplam Katı Madde (TKM)

Belirli hacimde alınan örnek, sabit tartıma getirilmiş kroze içinde 105°C'de etüvde kurutulur ve desikatörde soğutulur. Sabit tartıma gelince hassas terazide tartılır. Aşağıdaki şekilde hesaplama yapılır (APHA, 1992).

TKM, mg/l= (A-B)x1000/ml, örnek hacmi

A: Kroze + örnek ağırlığı, (mg)

B: Krozenin darası, (mg)

3.2.4.2. Askıda Katı Madde (AKM)

Filtreden geçmeyen katı maddeler olarak ifade edilen askıda katı maddeler su örneğinin filtre kağıdından geçmeyen kısmının 103 °C de etüvde 1 saat kurutulduktan sonra, desikatörde soğutulup tartılmasıyla belirlenmektedir (APHA, 1992).

- a) Önceden standart filtre kağıdı (0,2µm por çaplı) sabit tartıma getirilir.
- b) Belli hacimde su örneği filtre edilir.
- c) Filtre kağıdı 103°C de etüvde en az 1 saat kurutulur.

Hesaplama aşağıdaki şekilde yapılır.

AKM, mg/l= (A-B)x1000/ml, örnek hacmi

A: Filtre Kağıdı + örnek ağırlığı, (mg)

B: Filtre kağıdının darası, (mg)

3.2.4.3. Ucucu Katı Madde (UKM)

Toplam katı madde deneyi yapıldıktan sonra kap ve içinde kalan maddeler 15-20 dakika 550±50 °C'de fırında tutulur, kap ve içinde kalan maddeler tekrar tartılır (APHA, 1992).

Hesaplama aşağıdaki şekilde yapılır.

UKM mg/l= (A-B)x1000/ml, örnek hacmi

A: Kap+ içindeki madde ağırlığı (fırında yakmadan önce) , (mg)

B: Kap+ içindeki madde ağırlığı (fırında yakıldıktan sonra) , (mg)

3.2.5. pH

pH su içinde bulunan hidrojen iyonları derişiminin eksi logaritması olarak tanımlanır.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

Bu bağıntıya göre hidrojen iyonu derişimi arttıkça pH değeri düşer. Suların pH'ları pH metre (WTW-Inolab) ile ölçülmüştür.

3.2.6. Alkalinite

Alkalinite suyun proton alma kapasitesidir. Sulardaki alkalinite kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum hidroksit, karbonat ve bikarbonatları ile amonyağın varlığından ileri gelir. Hidroksit, karbonat ve bikarbonat olmak üzere üç çeşit alkalinite vardır. Alkalinite iki indikatör kullanılarak asit titrasyonu ile tayin edilir. Kullanılan indikatörler fenolfitalein ve metil oranjdır. Fenolfitalein hidroksit veya karbonat iyonu bulunduğunda pembe renk verir. Pembeden renksiz hale geçtiği pH değeri 10,2-8,3'dür. Metil oranj hidroksit ve karbonatlarla sarı, asitle kırmızı renk verir. Renk değişim pH'ı 4,4'dür.

Alkalinite sonuçları verilirken pH değerine dikkat edilmelidir. $\text{pH} > 8,3$ ise karbonat alkalinitesi mevcuttur. $\text{pH} > 9$ ise karbonat alkalinitesi ile birlikte hidroksit alkalinitesi de bulunabilir. $\text{pH} < 8,3$ ise sadece bikarbonat alkalinitesi mevcuttur (APHA, 1992; Baltacı, 2000).

- a) 10 ml örnek porselen kapsüle konur.
- b) 2 damla fenolfitalein damlatılarak standart H_2SO_4 çözeltisi ile renk pembeden renksiz oluncaya kadar titre edilir (Kullanılan asit çözeltisi P ml olsun).
- c) Aynı örneğe bu kez 2 damla metil oranj damlatılarak renk sarıdan turuncuya dönünceye kadar titrasyona devam edilir (Toplam kullanılan asit çözeltisi T ml olsun).

Örnekteki alkalinite miktarı Çizelge 3.3'e göre hesaplanır. Buradaki değerler meq/l cinsindedir.

Çizelge 3.3. Örneğin alkalinite miktarının hesaplanması

Titrasyon Sonucu	Hidroksit Alkalinitesi CaCO ₃ olarak	Karbonat Alkalinitesi CaCO ₃ olarak	Bikarbonat Alkalinitesi CaCO ₃ olarak
P= 0	0	0	0
P<1/2T	0	2P	T-2P
P=1/2T	0	2P	0
P>1/2T	2P-T	2(T-P)	0
P=T	T	0	0

P: Fenolftalein alkalinitesi T: Toplam Alkalinite

3.2.7. Uçucu yağ asitleri

Uçucu yağ asitleri atmosfer basıncında distile edilebilen, suda çözünen yağ asitleri olarak bilinirler. Yüksek kaynama noktasına sahip olmalarına rağmen su ile karışımları damıtma ile ayrılabilir. Damıtma yönteminde uçucu yağ asitleri asetik asit cinsinden hesaplanır. Anaerobik ayrıştırma işleminde kademeler arasındaki uyumu kontrol etmek amacıyla kullanılır.

Uçucu yağ asitlerinin belirlenmesi için, sistemden alınan 5 ml örnek 4500 dev/dak hızla 10 dakika santrifüj edilir. 100 ml saf su ve 5 ml H₂SO₄ çözeltisi eklenir ve karışım damıtılır. H₂S ve CO₂ den gelen hataları engellemek için ilk 15 ml'lik distilat atılır. Sonra gelen 150 ml distilat toplanır ve fenolftalein indikatörü ile 0,1 N NaOH'e karşı titre edilir. Kalıcı pembe renk elde edildiğinde büretten NaOH sarfiyatı okunur. Asetik asit cinsinden uçucu yağ asitleri mg l⁻¹ olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (APHA, 1992).

$$\text{UYA (mg l}^{-1}\text{)} = \text{NaOH sarfiyatı (ml)} \times \text{N} \times 60000 / \text{numune hacmi (ml)} \times f$$

N: NaOH'in normalitesi,

f: Düzeltme faktörü

Derişimi belli olan standart bir asetik asit çözeltisi ile aynı işlem yapılarak düzeltme faktörü (f) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$f = \text{Distilattan geri kazanılan asit miktarı (mg l}^{-1}\text{)} / \text{Standart çözeltideki asit miktarı (mg l}^{-1}\text{)}$$

3.2.8. Organik Azot

Organik azot, protein, aminoasit ve üre şeklindedir. Uygun şartlarda ve organizmaların varlığı halinde amonyak, nitrit veya nitrata dönüşür. Organik azot parçalanma sonucu genellikle amonyağa dönüşür. Organik azot tayini kjeldahl yöntemi ile yapılır. K_2SO_4 ve $HgSO_4$ katalizör olarak kullanılarak organik madde yapısında bulunan amino azotu, sülfürik asitle amonyum sülfata dönüşür. Serbest amonyak ve amonyum azotu da amonyum sülfata dönüşür. Örneğin parçalanması sırasında cıva amonyum kompleksi oluşur ve $Na_2S_2O_3$ ile bozunur. Bozunmadan sonra amonyak bazik ortamda borik asit ile damıtılır.

25 ml örnek alınır ve pH'ı 7'ye ayarlanır. 25 ml borat tampon çözeltisi ilave edilir. pH 9,5 oluncaya kadar 6N NaOH ilave edilir. Kaynama taşı atılıp yakma ünitesinde kaynatılır, böylelikle serbest amonyak uzaklaştırılır. Soğutulduktan sonra, damıtma balonuna 50 ml parçalama reaktifi konur ve karıştırılır. Hacim 25-50 ml kalıncaya kadar kaynatılır. Bu sırada beyaz dumanlar gözlenir. Parçalama işleminden sonra balon ve içindekiler soğumaya bırakılır. Daha sonra otomatik damıtma biriminde NaOH, borik asit varlığında damıtılır. Toplanan destilat borik asit indikatör çözeltisi kullanarak 0,02N H_2SO_4 ile renk soluk eflatun oluncaya kadar titre edilir. Aynı işlem saf su için uygulanır (APHA, 1992; Baltacı, 2000). Sonuç aşağıdaki gibi hesaplanır

$$\text{Organik azot mg/l} = (A-B) \times 280 / V$$

A: Örnek için harcanan H_2SO_4 hacmi, ml

B: Kör için harcanan H_2SO_4 hacmi, ml

V: ml numune

3.2.9. Gravimetrik Yöntemle Yağ-Gres Tayini

Çözünmüş ve emülsifiye yağlar sudan organik çözücülerle ekstrakte edilir. Organik çözücüler bazı numuneler ile çalkalandığında yapısı çok zor bozulabilen emülsiyon oluştururlar. Bu yöntem emülsiyon tayinini içerir.

Örneğin öncelikle pH'ı 2 veya daha düşük oluncaya kadar HCl ile asitlendirilir. 100 ml örnek ayırma hunisine alınır. Numune şişesi 30 ml ekstraksiyon çözeltisi (n-heksan/metil-tert butil eter) ile yıkanır ve ayırma hunisine aktarılır. İki dakika

çalkalanır ve fazların ayrılması için beklenir. Çözücü faz, içerisinde önceden çözücü ile ıslatılmış süzgeç kağıdı ve 10 g Na₂SO₄ bulunan huniden süzülerek temiz ve darası alınmış damıtma balonuna konur. Eğer çözücü faz berrak değilse 5 dakika 2400 rpm hızda santrifüjlenir. Santrifüjlenmiş kısım uygun bir ayırma hunisine alınır. Çözücü faz tekrar önceden ıslatılmış süzgeç kağıdı ve 10 g Na₂SO₄ bulunan huniden süzülür, temiz ve darası alınmış damıtma balonuna konur. Huni ve süzgeç kağıdı 10-20 ml çözücü ile yıkanarak damıtma balonuna aktarılır. Ekstraksiyon işlemi iki kez daha tekrarlanır. Hacim 10 ml kalıncaya kadar su banyosunda 85 °C’de damıtma balonu içindeki ekstraktlar damıtılır. Geri kalan çözücü aynı sıcaklıkta kaynatılarak uzaklaştırılır. Balon su banyosunda kurutulur, desikatörde 30 dakika soğutulup tartılır (APHA, 1992; Baltacı, 2000).

Sonuç aşağıdaki şekilde hesaplanır

$$\text{Yağ ve gres mg/l} = (A-B) \times 1000 / V$$

A: Toplam ağırlık, mg

B: Balon darası, mg

V: ml örnek

3.2.10. Biyokimyasal Metan Potansiyel (BMP) çalışmaları

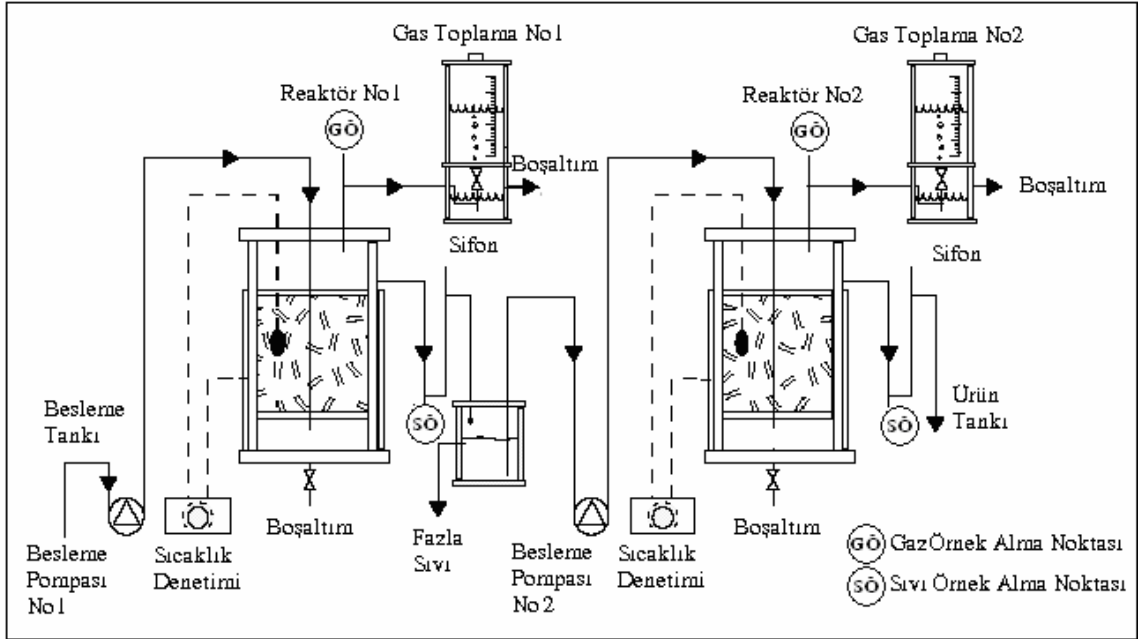
Atık suların anaerobik arıtılabilirliği ve biyogaz üretim kapasitelerini belirlemek için BMP denemeleri 100-120 ml’lik serum şişelerinde kesikli olarak yapılmıştır (Owen et al., 1979; Shelton and Tiedge, 1984; Boone and Xun, 1987; Baumann and Müller, 1997; Ubay and Öztürk, 1997; Demirer et al.; 2000; Elmitwalli et al., 2001; Ergüder et al., 2000; Ergüder et al., 2001). Serum şişelerindeki sıvı hacmi 40-50 ml olacak şekilde çalışılmıştır. pH 7±0,05 değerine ayarlanmış ve redoks indikatörü olarak ortama resazurin ilave edilmiştir. Ankara Merkezi Atık Su Arıtma Tesisi’nden sağlanan anaerobik çamur (%20 oranında) ve rumen sıvısı (%2) inokulum olarak kullanılmıştır.

Ayrıca gaz üretimi üzerine besin ve iz metallerin etkisini belirlemek üzere biri bazal ortam içeren (%10) diğeri içermeyen iki seri halinde serum şişeleri hazırlanmıştır. Şişeler kauçuk tıpayla kapatıldıktan sonra 3-4 dakika azot gazı geçirilerek ortamdaki oksijen uzaklaştırılmıştır. Şişeler 35±2°C de inkübe edilmiştir. Elde edilen biyogazdaki

metan oranı oluşan gazın % 2'lik KOH içeren sıvıdan geçirilmesiyle takip edilmiştir (Koby ve Demircioğlu.,1993; Vidal et al., 2000; Demirer et al., 2000).

3.2.11. Yukarı Akışlı Dolgulu Yatak Reaktör (YADYR) çalışmaları

Kullanılan dolgulu yatak reaktör şekil 3.1'de görülmektedir. Bu tip reaktörler sabit yataklı filtreler şeklinde de isimlendirilmektedir. Sistem 5 litre sıvı hacmine sahip iki reaktörden oluşmaktadır. Reaktörlerin çalışma hacimleri ise 4,3 litredir. Besleme peristaltik pompa ile değişik hızlarda sağlanmaktadır. Reaktörde kullanılan dolgu materyali plastiktir. İlk reaktörden çıkan sıvı toplama kabına gider. İkinci reaktörün beslenmesi de peristaltik pompa ile değişik hızlarda olmaktadır. 1 ve 2. reaktörlerde üretilen gaz 5 litre kapasiteli kaplarda toplanmaktadır. Gaz toplama, su yer değişimi esasına göre olmaktadır. Her reaktör elektrikli ısıtma battaniyesi ile ısıtılmaktadır.



Şekil 3.1. Yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktör

3.2.11.1. Reaktörü devreye alma çalışmaları

YADYR devreye alma süreci sistemin temelini oluşturmakta olup; ancak doğru seçilmiş bir aşu çamuru ve kontrollü besleme düzeniyle istenen biyofilm elde edilebilmektedir.

Metanojenik olarak aktif olan inokulum çamuru 5 litrelik reaktöre 2 litre (UAKM: 38 g l⁻¹) eklenerek reaktör bir süre kendi haline bırakılmıştır. İnokulum çamuru aktivitesinin ölçülmesinde ve granül çamurun elde edilebilmesi için bu aşamada besleme çözeltisi olarak bir süre uçucu yağ asitleri (UYA) karışımı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan UYA çözeltisi nötürleştirilmiş asetik asit, propiyonik asit ve butirik asitten oluşmaktadır (Soto et al., 1993).

2.2.11.2. Çevresel faktörlerin kontrolü

Anaerobik reaktörler çevresel faktör değişimlerine çok duyarlı olmaları nedeniyle işletilme sırasında bu faktörlerin düzenli şekilde kontrolü gerekmektedir (Gönenç vd., 1985).

Sıcaklık: Bu tip reaktörlerde optimum sıcaklık 30-37 °C'de arasındadır. Bu nedenle çalışma boyunca sıcaklık 37 °C'de yapılmıştır.

pH Kontrolü: Anaerobik mikroorganizmalar için önemli bir parametre olan pH 6,5-7,8 aralığında korunmuştur. Reaktörde pH, alkalinite ve UYA derişimi hergün kontrol edilmiştir. Alkaliniteyi 2000 mg l⁻¹ civarında tutmak üzere besleme çözeltisindeki NaHCO₃ miktarı ayarlanmıştır.

Uçucu Yağ Asitlerinin Kontrolü: Uçucu yağ asitleri genellikle 3 g l⁻¹'nin üzerinde anaerobik parçalanma sürecinde iş gören organizmalara toksik etki yaptığı bilinmektedir. Bu nedenle UYA kontrolü önem taşımaktadır.

Çeşitli İnhibitörlerin Kontrolü: Reaktörün devreye alınma sürecinde, anaerobik mikroorganizmaların duyarlı olduğu birçok kimyasal madde miktarına özellikle dikkat etmek gerekmektedir. Örneğin giriş suyundaki SO₄, NH₄ ve Ca²⁺ iyonları granülleşmeyi etkileyen iyonlar olmaları nedeniyle takip edilmesi gerekir.

Çeşitli reaktörlerin devreye alınmasında, SO₄'ın 300 mg l⁻¹'den sonra toksik etki göstermeye başladığı gözlenmiştir. Benzer şekilde NH₄-N belli bir derişimin üzerinde ipliksi mikroorganizmaların gelişmesini teşvik ederek, devreye alma sürecini geciktirmektedir. Ayrıca NH₄⁺iyonu metan bakterileri için 2,5 g l⁻¹'den sonra toksik etki göstermektedir. Granülleşmeyi etkileyen bir madde de Ca²⁺ iyonlarıdır. Ca²⁺

derişiminin, 450 mg l⁻¹ üzerine çıkması durumunda, oluşan ince yapılı CaCO₃ kristalleri granülleşmeyi güçleştirmektedir.

3.2.11.3. Deneysel çalışma planı

Anaerobik reaktör denemelerinde sürecin kademelendirilmesinde, hidrolik alıkonma süresi, giriş KOİ derişimi ve yükleme hızı gibi parametreler incelenmiştir. Reaktörlerin kontrolüne yönelik olarak pH, alkalinite, uçucu yağ asitleri ve sistemlerin verimlilik özelliklerini değerlendirmek amacıyla KOİ, AKM, biyogaz ölçümleri yapılmıştır. Her iki reaktörde de izlenen parametreler, izlenme sıklıkları çizelge 3.4’de verilmektedir.

Çizelge 3.4. Reaktörde izlenen parametreler

Parametre	Ölçüm yeri	Ölçüm sıklığı
Sıcaklık	R1, R2	Sürekli
pH	G, R1, R2	Günlük
Alkalinite	R1, R2	Günlük
UYA	R1, R2	Günlük
KOİ	R1, R2	3/hafta
AKM	R1, R2	3/hafta
Biyogaz	R1, R2	Günlük

R1: Reaktör 1, R2: Reaktör 2, G: Giriş

3.2.12. Metan gazının belirlenmesi

Serum şişelerinde ve reaktör çalışmalarında gaz üretimleri sıvı yer değiştirme yöntemi ile ölçülmüştür. Serum şişelerinde biriken gaz şırınga ile alınmış ve 20 g l⁻¹ KOH içeren başka bir serum şişesinden geçirilmiştir. Bu işlem sırasında serum şişesi 3-4 dakika çalkalanmıştır. Kalan gaz atık suyun anaerobik parçalanmasının sonucu olarak yaklaşık üretilen metan gazına denk gelmektedir (Vidal et al., 2000; Demirer et al., 2000).

3.2.13. Aerobik arıtım

3.2.13.1. Küf kullanılarak yapılan aerobik arıtım

Küflerin Potato Dekstroz Agar’da sporulasyonu sağlandıktan sonra konidiyumlar steril % 0,1’lik TritonX-100 çözeltisi ile alınmıştır. Anaerobik arıtım

uygulanmış şleme 250 ml'lik erlenlere 100 ml hacminde konulmuş ve pH'ı 5,5-5,7 değerine 1N HCl ile ayarlandıktan sonra 121 °C'de 15 dakika otoklavda steril edilmiştir. Sterilizasyondan sonra her bir erlene 10⁷ spor/ml'lik spor süspansiyonundan 1 ml ilave edilmiştir. Erlenler çalkalamalı inkübatörde (140 rpm) 27 °C' de, 8 gün inkübasyona bırakılmıştır (Jimenez et al., 2003). Renk giderimi, KOİ giderimi, biyokütle miktarı günlük olarak takip edilmiştir. Denemeler üç tekrarlı yapılmıştır.

Renk Giderimi: UV visible spektrofotometrede (CECIL 4002) 475 nm'de örneğin absorbansı ölçülerek belirlenmiştir (Dahiya et al., 2001).

Biyokütle gelişimi: Biyokütle artışı arıtımdan sonraki toplam katılar ile başlangıçtaki toplam katılar arasındaki farktan hesaplanmıştır (Benito et al., 1997).

3.2.13.2. Aktif çamur kullanılarak yapılan aerobik arıtım

Anaerobik arıtım sonrası şleme ve peyniraltı suyu 250 ml'lik erlenlere 85 ml hacminde konulmuş ve her bir erlene 15 ml aktif çamur ilave edilmiştir. Erlenler çalkalamalı inkübatörde (140 rpm) 25 °C 8 gün inkübasyona bırakılmıştır. Günlük olarak KOİ, pH, yağ-gres ve biyokütle gelişimi analizleri yapılmıştır. Denemeler üç tekrarlı gerçekleştirilmiştir (Özdemir ve Eltem, 2000; Tezel et al., 2001; Uzal et al., 2003).

3.2.14. İyon ve Metal Analizleri

Al (1.14825), Ca (1.14815), Cr (1.14758), Cu (1.14767), Fe (1.14761), Mg (1.00815), Ni (1.14785), Toplam fosfor (1.14729), K (1.14562), SO₄ (1.14791), Mn (1.14770), S⁻²(1.14779), Zn (1.14832) analizleri Merck kitleri kullanılarak UV visible spektrofotometrede (Cecil 4002) ölçülmüştür.

4. SONUÇLAR

4.1. Fabrikalardan Alınan Atık Suların Özellikleri

Biyokimyasal metan potansiyel denemelerine alınacak atık suların belirlenebilmesi için çizelge 3.1 ve 3.2’de belirtilen işletmelerden alınan atık suların pH, KOİ, AKM, TKM, UKM ve bazılarında ise BOİ yapılmıştır. Analizler yapılasıya kadar su örnekleri buzdolabında +4°C’de saklanmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1 Değişik fabrikalardan alınan atık suların özellikleri

İşletmeler	pH	KOİ (mg l ⁻¹)	BOİ (mg l ⁻¹)	AKM (mg l ⁻¹)	TKM (mg l ⁻¹)	UKM (mg l ⁻¹)
Aslan Susam	6,45	5073	820	4934	16155	6313
Demircanlar Yağ Sanayi	6,62	25233	5500	6750	38548	11648
Es-Kar Et 1	7,40	2041	1250			
Es-Kar Et 2	7,40	8500	5000	1422	6430	4817
Eti Gıda A.Ş.	7,92	120	60			
Güney Süt Diyarı	7,20	2160	1500			
Güven Süt (Peynir Altı suyu)	6,04	30000		3200	32480	2190
İmamoğlu Un	7,65	1465				
Kükrer Gıda	6,52	2476	1450	544	868	528
Pınar Süt 1	7,25	2647	1400	715	1839	1682
Pınar Süt 2	7,47	2000	1150			
Şeker Fab (a)	6,30	1008				
Şeker Fab (b)	6,08	2721	1500	612	2731	1822
Şeker Fab (c)	4,98	107000		3294	99666	65642
Tam Gıda (a)	11,79	18278		3450	6507	5432
Tam Gıda (b)	12,25	12000		8870	16809	8485

KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı, BOİ: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı AKM: Askıda Katı Madde, TKM: Toplam Katı Madde, UKM: Uçucu Katı Madde

Atık su sağlanan 11 işletmeye ait toplam 16 atık suyun yapılan analizleri sonucunda KOİ değerlerine göre (2000 mg l⁻¹ ve üzeri) 12’sinin anaerobik arıtım uygulanabilecek özelliğe sahip olduğu düşünülerek BMP denemelerine alınmıştır. Bu işletmeler sırasıyla Aslan Susam (5073 mg l⁻¹), Demircanlar Yağ Sanayi (25233 mg l⁻¹), Es-Kar Et (2041 ve 8500 mg l⁻¹), Güney Süt Diyarı (2160 mg l⁻¹), Güven Süt (Peynir Altı suyu) (30000 mg l⁻¹), Kükrer Gıda (2476 mg l⁻¹), Pınar Süt (2647 mg l⁻¹), Şeker Fab. (2721 ve 107000 mg l⁻¹), Tam Gıda (12000 ve 18278 mg l⁻¹) dir.

4.2. İnokulumların Özellikleri

4.2.1. Anaerobik çamur

Kesikli ve sürekli reaktör çalışmalarında kullanılan ve farklı zamanlarda alınan iki anaerobik çamura ait bazı özellikler Çizelge 4.2 ve 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Kesikli çalışmalarda kullanılan anaerobik çamurun özellikleri

Parametre	Sonuç
pH	7,4
AKM (g l ⁻¹)	38,4
UAKM (g l ⁻¹)	30,8

Çizelge 4.3. Sürekli reaktör çalışmalarında kullanılan anaerobik çamurun özellikleri

Parametre	Sonuç
pH	7,3
AKM (g l ⁻¹)	60
UAKM (g l ⁻¹)	38

4.2.2. Aktif çamur

Aerobik arıtımda kullanılan aktif çamura ait özellikler çizelge 4.4.’de verilmektedir.

Çizelge 4.4. Aerobik arıtımda kullanılan aktif çamurun özellikleri

Parametre	Sonuç
pH	7,2
AKM (g l ⁻¹)	2,1
UAKM (g l ⁻¹)	0,9

4.3. Biyokimyasal Metan Potansiyel (BMP) Sonuçları

KOİ değerlerine göre belirlenen 12 atık su örneği BMP denemelerine alınmıştır.

Aslan Susam ve Tahin Gıda Mad. San. ve Tc. Ltd. Şti.’ den alınan atık suya ait BMP denemelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5’de verilmektedir. İnokulum olarak anaerobik çamur (%20) ve rumen sıvısı (%2) kullanılarak 60 gün denemeler sürdürülmüştür.

İnokulum olarak rumen sıvısının kullanıldığı denemelerde KOİ gideriminin ve gaz üretiminin anaerobik çamura göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca bazal ortam (BO) ilavesinin KOİ giderimi ve gaz üretimi üzerine etkisi gözlenmemiştir. KOİ gideriminin çok az olması nedeniyle bu atık su için sürekli reaktör çalışmaları uygulanmamıştır.

Çizelge 4.5. Aslan Susam ve Tahin Gıda atık suyu BMP denemeleri (60 gün)

Parametre	BO'lu reaktör	BO'suz reaktör	Kontrol
İnokulum (Anaerobik Çamur)			
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	5073	5073	0
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	5010	5000	0
Toplam Gaz (ml)	2	6	0
Metan Gazı (ml)	1	4	0
İnokulum (Rumen Sıvısı)			
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	5073	5073	0
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	4900	4800	0
Toplam Gaz (ml)	11	12	0
Metan Gazı (ml)	8	9	0

BO: Bazal ortam

Demircanlar Yağ Sanayi Gıda ve İht. Maddeleri Tic. A.Ş.' den alınan atık suya ait BMP denemelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmektedir. Alınan atık suyun KOİ'si çok yüksek olduğu için %50 ve %25 oranında seyreltilmiştir. İnokulum olarak anaerobik çamur kullanılarak 60 gün denemeler sürdürülmüştür.

Özellikle BO'lu denemelerde seyreltme oranı arttıkça, gaz üretiminde ve KOİ gideriminde belirgin bir artış gözlenmektedir. Ancak KOİ gideriminin yetersiz olduğu bu atık suyun reaktörde arıtım için uygun olmadığı anlaşılmaktadır.

Es-Kar Et Kombinasyonu (Çelikler Turizm ve Gıda San. ve Tic. Ltd. Şti. Eskişehir Şubesi)' den alınan atık suya ait BMP denemelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmektedir. İnokulum olarak anaerobik çamur kullanılarak 60 gün denemeler sürdürülmüştür

Çizelge 4.6. Demircanlar Yağ Sanayi atık suyu BMP deneme bulguları

Seyreltme oranı (%)	Parametre	BO'lu reaktör	BO'suz reaktör	Kontrol
0	Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	25233	25233	0
	Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	22000	24900	0
	Toplam Gaz (ml)	16	3	0
	Metan Gazı (ml)	8	2	0
50	Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	12600	12600	0
	Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	9800	11200	0
	Toplam Gaz (ml)	21	6	0
	Metan Gazı (ml)	12	4	0
25	Başlangıç KOİ(mg l ⁻¹)	6308	6308	0
	Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	3460	5325	0
	Toplam Gaz (ml)	99	20	0
	Metan Gazı (ml)	78	13	0

BO: Bazal ortam

Çizelge 4.7. Es-Kar Et Kombinasyonu atık suyu BMP deneme bulguları

	Parametre	BO'lu reaktör	BO'suz reaktör	Kontrol
1 Nolu Örnek	Başlangıç KOİ(mg l ⁻¹)	2041	2041	0
	Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	1000	1500	0
	Toplam Gaz (ml)	2	10	0
	Metan Gazı (ml)	1	6	0
2 Nolu Örnek	Başlangıç KOİ(mg l ⁻¹)	8500	8500	0
	Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	7500	4930	0
	Toplam Gaz (ml)	10	80	0
	Metan Gazı (ml)	8	55	0

BO: Bazal ortam

Bu fabrikadan farklı zamanlarda iki atık su alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde 8500 mg l⁻¹ KOİ değerli atık suda bazal ortam ilavesinin olmadığı kesikli reaktörlerde hem KOİ giderimi hem de gaz üretimi bazal ortamlı reaktörlere göre daha fazla olmuştur.

Güney Süt Diyarı' ndan alınan atık suya ait BMP denemelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8'de verilmektedir. İnokulum olarak anaerobik çamur kullanılarak 60 gün denemeler sürdürülmüştür. Bu atıksuda da bazal ortam ilavesinin KOİ giderimi ve gaz üretimi üzerine etkili olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.8. Güney Süt Diyarı atık suyu BMP deneme bulguları

Parametre	BO'lu reaktör	BO'suz reaktör	Kontrol
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	2160	2160	0
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	1250	1500	0
Toplam Gaz (ml)	4	8	0
Metan Gazı (ml)	2	5	0

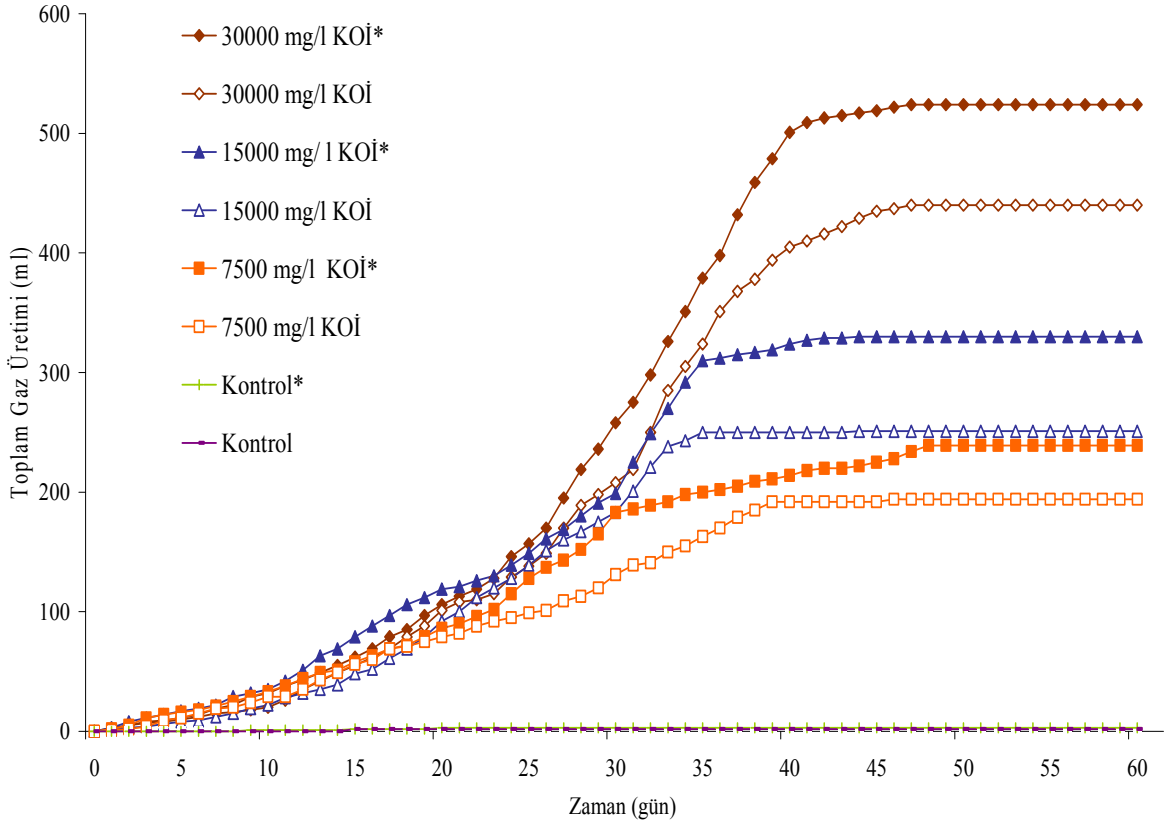
BO: Bazal ortam

Güven Süt' ten alınan atık suya (peynir altı suyu) ait BMP denemelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.9 ve Şekil 4.1' de verilmektedir. İnokulum olarak anaerobik çamurun kullanıldığı bu deneme 60 gün boyunca sürdürülmüştür. Bazal ortamlı, başlangıç KOİ derişimi 7500 mg l⁻¹ olan serum şişelerinde toplam üretilen gazın (239 ml) %91'i (218 ml) herhangi bir inhibisyon görülmeksizin 41 günlük zaman diliminde oluşmuştur. Benzer şekilde başlangıç KOİ derişimi 15000 mg l⁻¹ olan serum şişelerinde toplam üretilen gazın (330 ml) % 90' ından fazlasına (310 ml) 35. günde ulaşılmıştır. En yüksek KOİ derişimi olan 30000 mg l⁻¹ giriş suyu ile yapılan denemede herhangi bir inhibisyon görülmeksizin 524 ml olan toplam gazın 479 ml' si 39. güne kadar oluşmuştur. Bazal ortam ilavesiz serum şişelerinde ise toplam 440 ml gaz elde edilmiştir ve bunun da %92' si (405 ml) 40 günlük periyotta oluşmuştur. KOİ giderimi ve gaz üretiminde dikkate değer oranda artış görülmesi nedeniyle peynir altı suyunun reaktörde sürekli anaerobik arıtım çalışmaları için uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.9. Güven Süt atık suyu (peynir altı suyu) BMP deneme bulguları

Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	KOİ giderimi (%)	Toplam Gaz Üretimi (ml)	Metan Gazı (ml)	Biyogazdaki metan oranı (%)	Metan Üretimi (l CH ₄ l ⁻¹ atık su)
30000 *	2400	92	525	440	84	10,98
30000	2600	89	440	350	79	8,76
15000 *	1500	90	330	270	82	6,75
15000	1950	87	253	198	78	4,95
7500 *	1050	88	239	192	80	4,80
7500	1120	85	194	143	74	3,60

*: Bazal ortam



Şekil 4.1. Peynir altı suyu BMP çalışmalarında kullanılan BO'lu BO'suz serum şişelerinde gaz üretim değerleri (* BO'lu).

Kükrer Gıda ve İhtiyaç Mad. Nak. Özel Eğ.Hiz. Tic. ve San.Ltd. Şti' den alınan atık suya ait BMP denemelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmektedir. İnokulum olarak anaerobik çamur (%20) ve rumen sıvısı (%2) kullanılarak 60 gün denemeler sürdürülmüştür.

Hem rumen sıvısı hem de anaerobik çamur çalışmalarında bazal ortamsız reaktörlerde KOİ giderimi ve gaz üretimi daha yüksektir.

Pınar Süt Mamülleri San. A.Ş' den alınan atık suya ait BMP denemelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'de verilmektedir. İnokulum olarak anaerobik çamur (%20) ve rumen sıvısı (%2) kullanılarak 60 gün denemeler sürdürülmüştür.

Çizelge 4.10. Kükürer Gıda atık suyu BMP deneme bulguları

Parametre	BO'lu reaktör	BO'suz reaktör	Kontrol
İnokulum (Anaerobik Çamur)			
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	2476	2476	0
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	1980	670	0
Toplam Gaz (ml)	5	23	0
Metan Gazı (ml)	3	18	0
İnokulum (Rumen sıvısı)			
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	2476	2476	0
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	2100	550	0
Toplam Gaz (ml)	3	55	0
Metan Gazı (ml)	1	40	0

BO: Bazal ortam

Çizelge 4.11. Pınar Süt atık suyu BMP deneme bulguları

Parametre	BO'lu reaktör	BO'suz reaktör	Kontrol
İnokulum(Anaerobik Çamur)			
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	2647	2647	0
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	2450	2100	0
Toplam Gaz (ml)	12	45	0
Metan Gazı (ml)	9	32	0
İnokulum (Rumen Sıvısı)			
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	2647	2647	0
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	2590	2300	0
Toplam Gaz (ml)	2	21	0
Metan Gazı (ml)	1	16	0

BO: Bazal ortam

T. Şeker Fab. A.Ş. Eskişehir Şeker Fabrikası, dinlendirme havuzu çıkış suyundan alınan atık suya ait BMP denemelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.12'de verilmektedir. İnokulum olarak anaerobik çamur (%20) ve rumen sıvısı (%2) kullanılarak 60 gün denemeler sürdürülmüştür.

T. Şeker Fab. A.Ş. Eskişehir Şeker Fabrikası, alkol damıtma atık suyuna (şlempe) ait BMP denemelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.13 ve Şekil 4.2'de verilmektedir. Alınan şlempenin KOİ'si çok yüksek olduğu için %50, %25, %10, %5 oranında seyreltikten sonra, inokulum olarak anaerobik çamur ile BMP denemeleri yapılmıştır.

Çizelge 4.12. Şeker fabrikası dinlendirme havuzu çıkış suyu BMP deneme bulguları

Parametre	BO'lu reaktör	BO'suz reaktör	Kontrol
İnokulum(Anaerobik çamur)			
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	2721	2721	0
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	2500	2100	0
Toplam Gaz (ml)	4	15	0
Metan Gazı (ml)	2	11	0
İnokulum (Rumen sıvısı)			
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	2721	2721	0
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	790	1200	0
Toplam Gaz (ml)	114	82	0
Metan Gazı (ml)	100	70	0

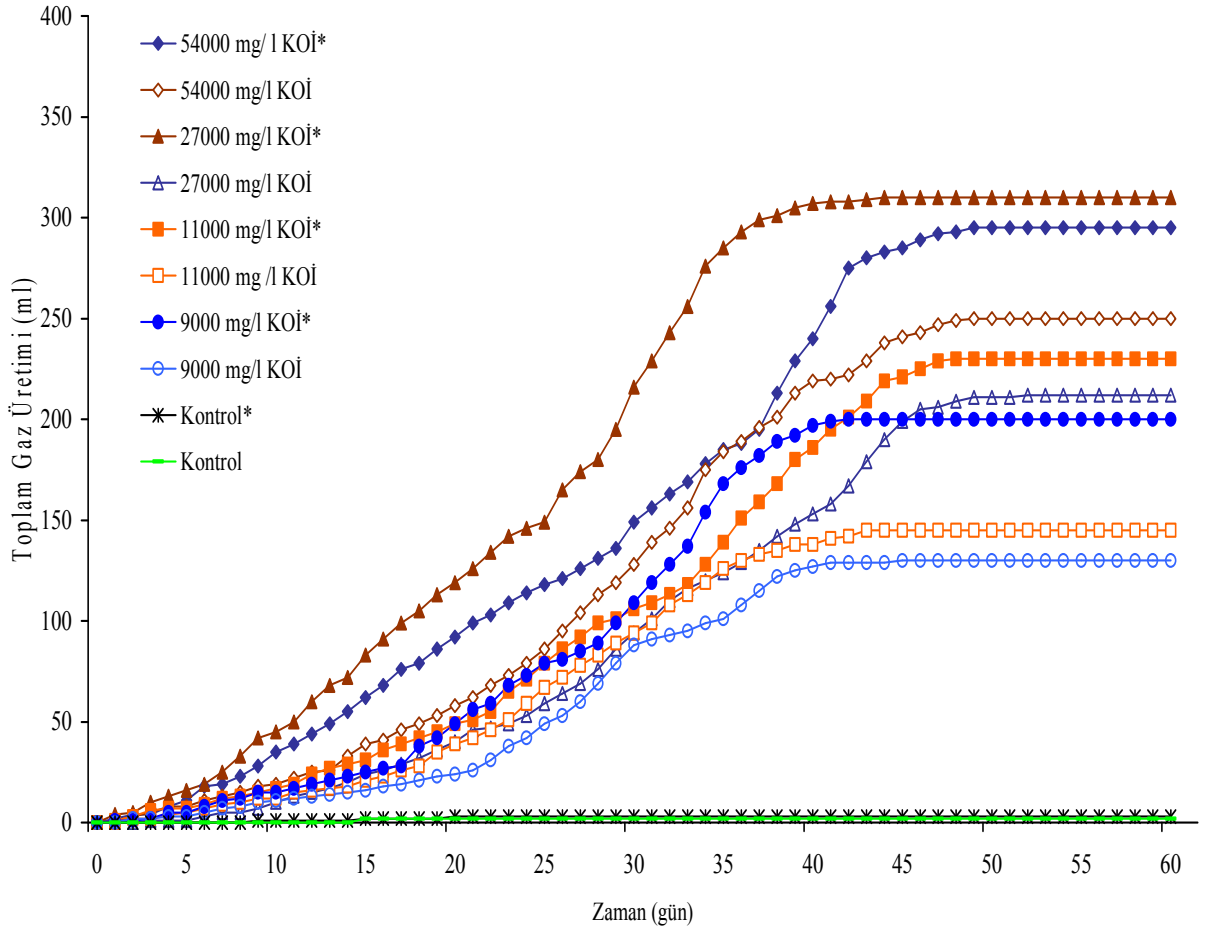
BO: Bazal ortam

Çizelge 4.13. Şlempe BMP deneme bulguları

Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	KOİ giderimi (%)	Toplam Gaz Üretimi (ml)	Metan Gazı (ml)	Biyogazdaki metan oranı (%)	Metan Üretimi (l CH ₄ l ⁻¹ atık su)
54000 *	10400	81	295	235	79,6	5,9
54000	11800	78	250	190	76,0	4,8
27000 *	3700	86	310	240	77,4	6,0
27000	5200	81	212	150	71,0	3,8
11000 *	2500	77	230	173	75,2	4,3
11000	2900	74	145	100	70,0	2,5
9000 *	1800	79	200	160	80,0	4,0
9000	2030	73	130	91	70,0	2,3

*:Bazal ortam

Serum şişelerinde oluşan toplam gaz miktarı karşılaştırmalı olarak Şekil 4.2' de verilmektedir. Bazal ortamlı ve 9000, 11000, 27000 ve 54000 mg l⁻¹ KOİ değerine sahip serum şişelerinde gözlenen toplam gaz üretimi sırasıyla 200, 230, 310, 295 ml' dir. Bazal ortamsız ve yukarıda belirtilen KOİ değerlerinde ise toplam gaz üretimi sırasıyla 130, 145, 212 ve 250 ml dir. Bazal ortamsız ve 27000 mg l⁻¹ KOİ' li şlempenin artıtımı sonunda metan üretimi 139 ml CH₄/g KOİ (3.8 l CH₄/l atık su) olarak bulunmuştur. Bazal ortamlı kesikli reaktörlerde 27000 mg l⁻¹ KOİ içeren atık suyun artıtımı sırasında en yüksek gaz verimi 222 ml CH₄/g KOİ (6 l CH₄/l atık su) dir. Bazal ortam varlığında biyogazdaki metan yüzdesi %77±3 iken bazal ortamsız serum şişelerinde %73 ±3'tür.



Şekil 4.2. Şlempeye ait BMP çalışmalarında kullanılan BO'lu BO'suz serum şişelerinde gaz üretim değerleri (* BO'lu)

Tam Gıda San. ve Tic. A.Ş.'de hamur işleme biriminden alınan atık suya ait BMP denemelerinden elde edilen toplam gaz ve metan gazı oranları Çizelge 4.14' de verilmektedir. İnokulum olarak anaerobik çamur (%20) kullanılarak 60 gün denemeler sürdürülmüştür. BMP deney sonucuna göre, bazal ortam ilave edilen atık suyun KOİ bazında %78 oranında arıtılabildiği ve her g KOİ başına 241 ml metan gazı üretilebileceği bulunmuştur. Buna karşılık bazal ortamsız atık suyun KOİ bazında %67 oranında arıtılabildiği ve her g KOİ başına 186 ml metan gazı üretilebileceği bulunmuştur.

Çizelge 4.14. Tam Gıda hamur işleme birimi atık suyu BMP bulguları

Parametre	BO'lu reaktör	BO'suz reaktör
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	18278	18278
Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	4000	6000
Toplam gaz (ml)	262	184
Metan gazı (ml)	176	136
Biogazın metan içeriği (%)	67	73
Metan üretimi(l metan l ⁻¹ atık su)	4,4	3,4

BO: Bazal ortam

Tam Gıda San. ve Tic. A.Ş. kek üretim biriminden çıkan atık suya ait BMP denemelerinden elde edilen toplam gaz ve metan gazı oranları Çizelge 4.15 ve Şekil 4.3' de verilmektedir.

Çizelge 4.15. Kek üretim atık suyu BMP deneme bulguları

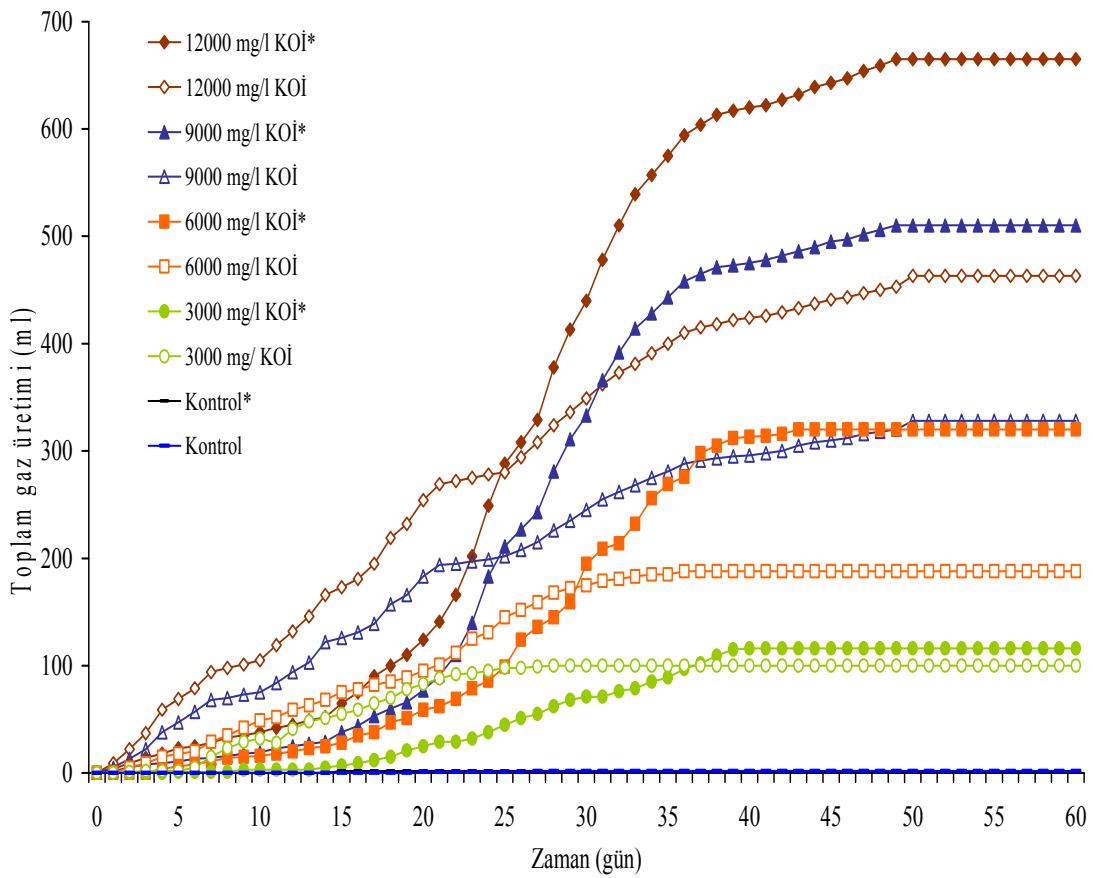
Başlangıç KOİ (mg l ⁻¹)	Bitiş KOİ (mg l ⁻¹)	KOİ giderimi (%)	Toplam Gaz Üretimi (ml)	Metan Gazı (ml)	Biyogazdaki metan oranı (%)	Metan Üretimi (l CH ₄ l ⁻¹ atık su)
12000 *	241	98	665	510	77	12,7
12000	2650	78	463	328	71	8,2
9000 *	270	97	510	395	77,4	9,9
9000	2160	76	328	229	70	5,6
6000 *	276	95,4	320	240	75	6
6000	1500	75	188	140	74,5	3,5
3000 *	150	95	116	89	76,7	2,2
3000	771	74,3	110	72	72	1,95

*:Bazal ortam

İnokulum olarak anaerobik çamurun (%20) kullanıldığı kek üretim atık suyunun arıtımı çalışması 60 gün sürdürülmüştür. Bazal ortam ilaveli, başlangıç KOİ değeri 3000 mg l⁻¹ olan serum şişelerinde toplam üretilen gazın (116 ml) %94'ü (109 ml) herhangi bir inhibisyon görülmeksizin 38 günlük zaman diliminde oluşmuştur. Başlangıç KOİ derişimi 6000 mg l⁻¹ olan serum şişelerinde toplam üretilen gazın (320 ml) % 90' indan fazlası (298 ml) 37. güne kadar oluşmuştur. Benzer şekilde KOİ değeri 9000 mg l⁻¹ olan atık su ile 510 ml gaz üretilmiştir. En yüksek başlangıç KOİ değeri 12000 mg l⁻¹ olan atık su ile serum şişelerinde toplam üretilen gazın (665 ml) % 90'indan fazlası (604 ml) 37. güne kadar oluşmuştur.

Bazal ortam ilave edilmemiş denemelerde 12000 mg l⁻¹ KOİ'li atık suyun arıtımı süresince toplam üretilen gazın (463 ml) %90'luk oranı (424 ml) 40. güne kadar

oluşturmuştur. Bazal ortam ilavesiyle yapılan denemelerde metan üretimi 60 günün sonunda 1062 ml CH₄/g KOİ (12,7 l CH₄/l atık su) karşılık gelmektedir. Bazal ortam ilavesiz denemelerde ise metan üretimi 60 günün sonunda 683 ml CH₄/g KOİ (8,2 l CH₄/l atık su) olarak hesaplanmıştır. Bazal ortam varlığında biyogazdaki metan oranı %76±1 iken bazal ortamsız serum şişelerinde %73±2 dır. Ayrıca KOİ giderimi bazal ortamlı denemelerde %95-98 olarak bulunurken, bazal ortamsız serum şişelerinde %74-78 düzeyinde kalmıştır.



Şekil 4.3. Kek üretim atıksuyu BMP çalışmalarında kullanılan BO'ly ve BO'sız serum şişelerinde gaz üretim değerleri (* BO'ly)

4.4.Yukarı Akışlı Dolgulu Yatak Reaktör [Sabit Yataklı (Packed Bed) Filtreler]

Sonuçları

4.4.1. Kek Üretim Fabrikası Atık suyu Arıtım Sonuçları

Reaktör çalışmasında kullanılan kek üretim fabrikası atık suyunun özellikleri çizelge 4.16’da verilmektedir.

Çizelge 4.16. Kek üretim atık suyunun özellikleri

Parametre	Sonuç
pH	12,25
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg l ⁻¹)	8500±200
Toplam Katı Madde (mg l ⁻¹)	11800±250
Askıda Katı Madde (mg l ⁻¹)	6250±150
Uçucu Askıda Katı Madde (mg l ⁻¹)	3300±200
Toplam Kjeldahl Azotu (mg l ⁻¹)	44,8
Toplam Fosfor (mg l ⁻¹)	58,8

Toplam 150 gün süren kek üretim fabrikası atık suyu ile yapılan çalışmalar boyunca R1 için organik yük 1,3-10,2 g KOİ l⁻¹ gün aralığında değiştirilmiştir. R1’in çıkış suyu R2’ye verilerek arıtıma devam edilmiştir. Deneme süresince elde edilen veriler Çizelge 4.17 ve 4.18’de verilmektedir.

Çizelge 4.17. Kek üretim atık suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları

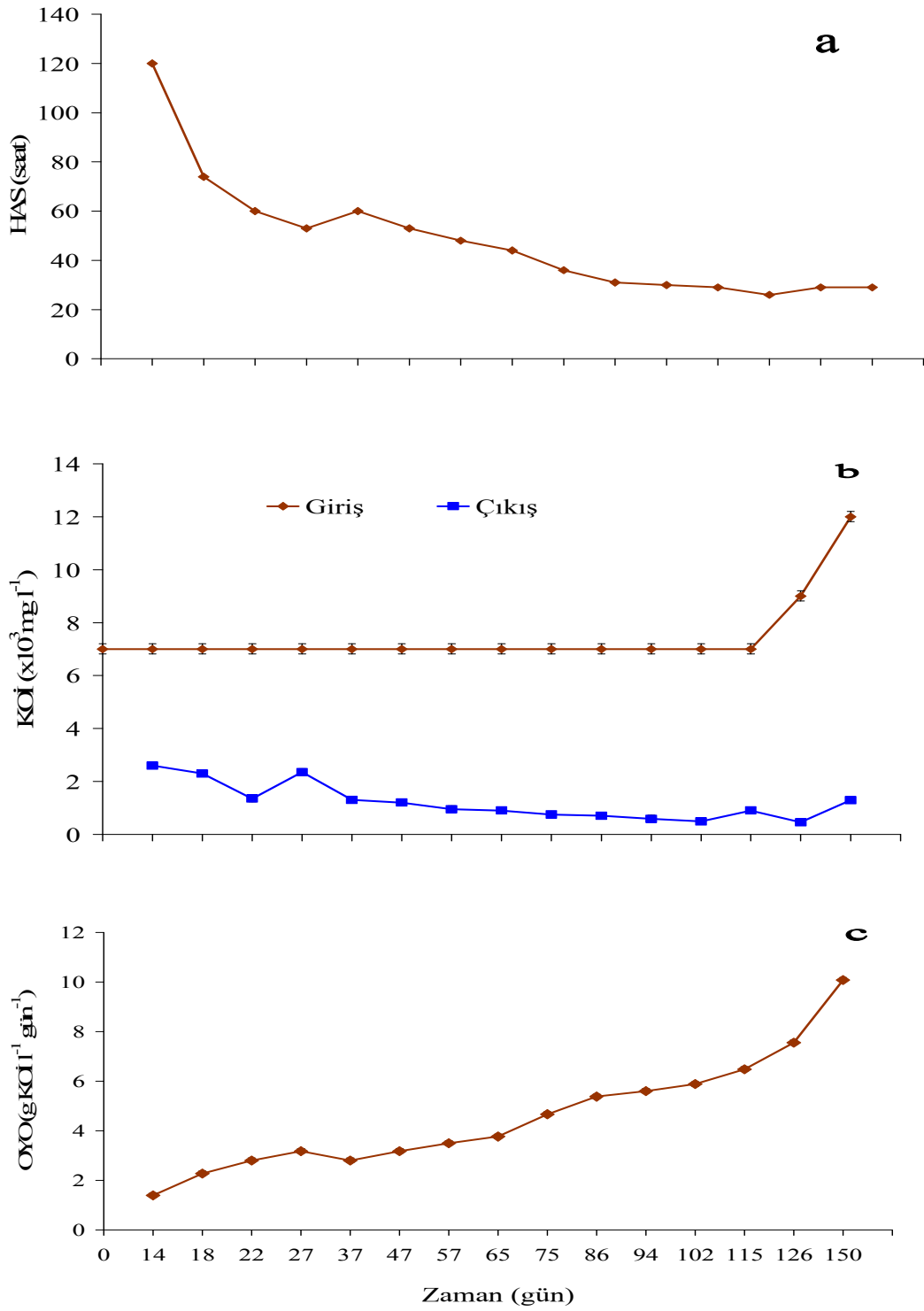
Gün	Giriş Parametreleri						Çıkış Parametreleri							
	HAS (saat)	KOİ	AKM	OYO	pH	Alk.	KOİ	AKM	Metan	pH	Alk.	UYA	KOİ giderimi (%)	UYA/ Alk.
0-14	120	7000	4500	1,4	7,1	2000	2600	450	1,49	7,2	1950	220	63	0,11
15-18	74	7000	4500	2,28	7,05	2000	2300	410	2,58	7,3	2000	225	67	0,11
19-22	60	7000	4500	2,8	7	2000	1350	400	3,83	7,2	2100	240	80	0,12
23-27	53	7000	4500	3,18	7,1	2000	2350	430	3,58	7,2	1850	220	66	0,10
28-37	60	7000	4500	2,8	7,1	2000	1300	410	3,88	7,2	1800	225	81	0,12
38-47	53	7000	4500	3,18	7,1	2000	1200	410	4,46	7,3	2050	200	82	0,11
48-57	48	7000	4500	3,5	7	2000	950	395	5,14	7,2	2200	220	86	0,10
58-65	44	7000	4500	3,77	7,1	2000	900	390	5,56	7,3	2250	220	87	0,10
66-75	36	7000	4500	4,67	7,13	2000	750	380	7,06	7,5	2360	224	89	0,09
76-86	31	7000	4500	5,38	7,1	2000	700	380	8,21	7,5	2600	220	90	0,09
87-94	30	7000	4500	5,6	7,1	2000	590	378	8,70	7,6	2700	300	91	0,11
95-102	29	7000	4500	5,88	7,1	2000	490	370	9,28	7,6	2400	280	93	0,10
103-115	26	7000	4500	6,48	7,1	2000	900	500	9,08	7,55	2400	400	87	0,15
116-126	29	9000	6200	7,56	7,1	2000	460	440	12,2	7,3	2500	390	95	0,14
127-150	29	12000	8300	10,08	7,1	2000	1294	515	15,5	7,3	2500	390	91	0,16

KOİ (mg l⁻¹); AKM (mg l⁻¹); OYO (g KOİ l⁻¹ gün⁻¹); Alk.: Bikarbonat alkalitesi (mg CaCO₃ l⁻¹); UYA (mg l⁻¹); Metan :l CH₄ l⁻¹ atık su gün⁻¹

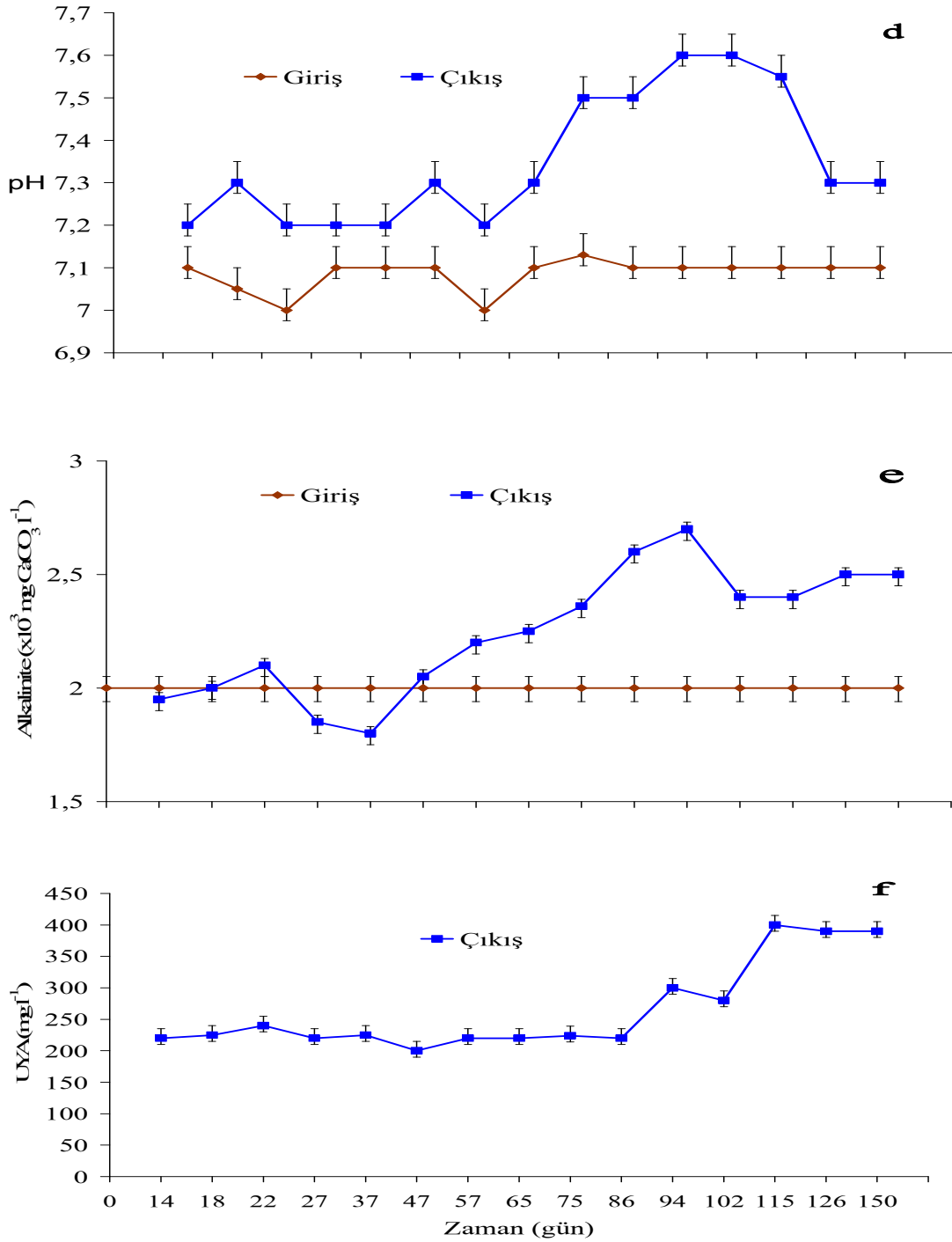
Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6, 4.7' de R1 ve R2'ye ait 150 gün boyunca uygulanan hidrolik alıkonma süresi (HAS), organik yükleme oranları (OYO), giriş ve çıkış KOİ değerleri, pH, bikarbonat alkalinite değerleri ve çıkış UYA derişimleri verilmektedir.

Kek üretim atık suyunun birinci reaktör bulgularına göre, KOİ giderimi 0-14. günler arasında en düşük (%63), 116-126. günler arasında ise en yüksek (%95) olduğu görülmektedir. Bu süreç sırasında giriş parametreleri değiştirilerek optimum koşullara ulaşılmaya çalışılmıştır. Buna bağlı olarak 116. günden itibaren giriş KOİ'deki artışın gaz üretimini ve dolayısıyla KOİ giderim oranını arttırdığı gözlenmektedir. Arıtım süreci boyunca UYA/Alkalinite oranı 0,3'den düşük olmuştur. Metan gazı üretim oranı ise en düşük $1,52 \text{ CH}_4 \text{ l}^{-1}\text{gün}^{-1}$ den en yüksek $15,5 \text{ CH}_4 \text{ l}^{-1}\text{gün}^{-1}$ arasında değişmiştir. Giriş KOİ'si arttıkça metan üretimi artış göstermiş, ancak KOİ giderim yüzdesi (%91) düşmüştür.

İkinci reaktörde giriş KOİ oranı $490\text{-}2400 \text{ mg l}^{-1}$ arasında değişmiştir. Organik yükleme 1. reaktör ile paralel sürdürülmüştür. KOİ giderimi %46-84 arasında değişmiştir. UYA/Alkalinite oranı arıtım boyunca $0,06\text{-}0,09$ arasında değişmiştir. Giriş AKM'si $370\text{-}450 \text{ mg l}^{-1}$ arasında değişirken çıkış AKM'si $100\text{-}125 \text{ mg l}^{-1}$ arasında değişmiştir. 150 gün boyunca metan gazı üretimi $0,341 \text{ l CH}_4 \text{ l}^{-1}\text{gün}^{-1}$ - $1,303 \text{ l CH}_4 \text{ l}^{-1}\text{gün}^{-1}$ arasında değişmiş, en yüksek metan üretimi 127-150. günlerdeki koşullarda (giriş KOİ 1294 mg l^{-1} ve HAS 30 saat) gerçekleşmiştir.



Şekil 4.4. Kek üretim atık suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: a) HAS, b) giriş ve çıkış KOİ değerleri, c) OYO

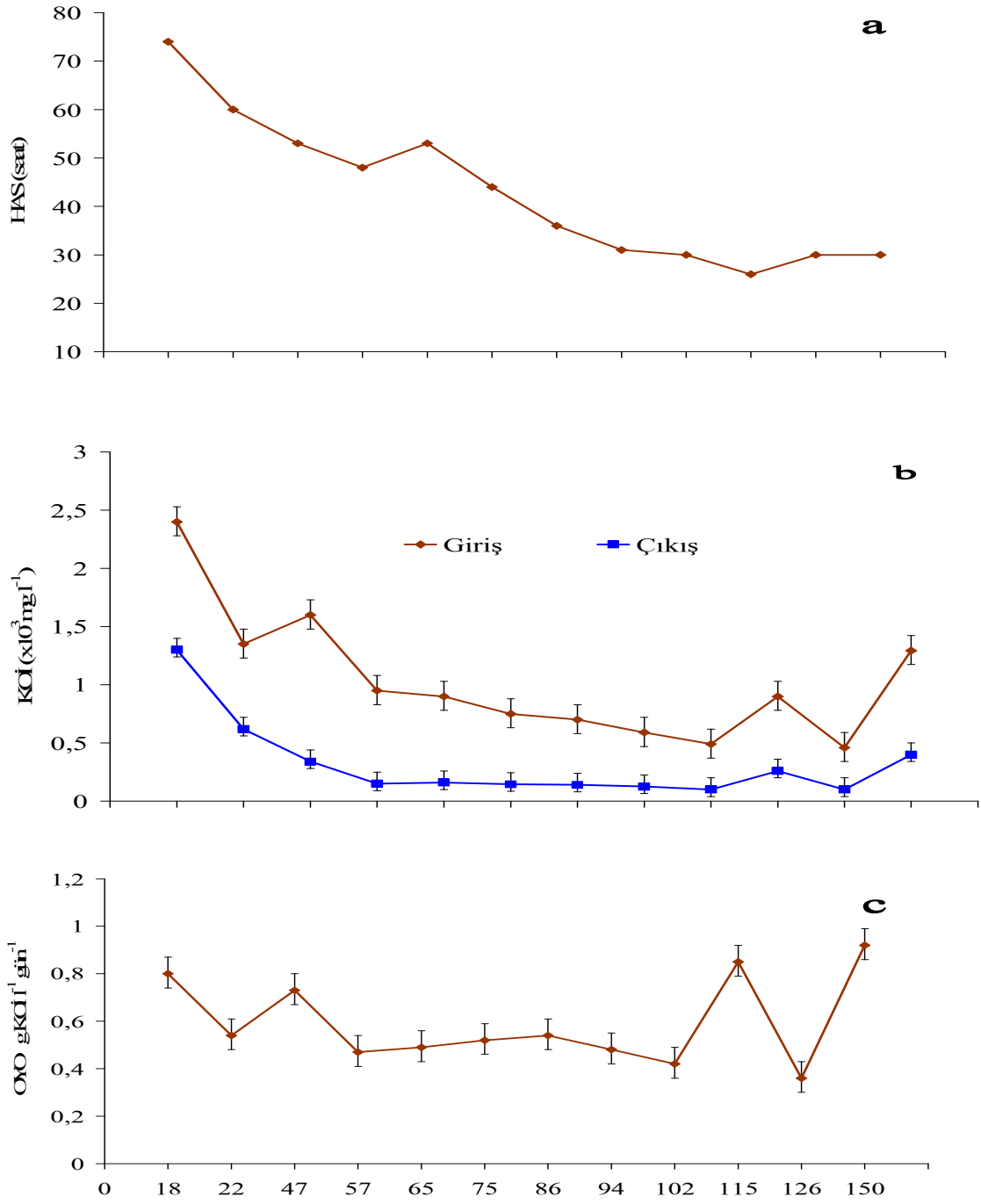


Şekil 4.5. Kek üretim atık suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: d) pH, e) giriş ve çıkış bikarbonat alkalinitesi, f) çıkış UYA (asetik asit olarak) derişimleri.

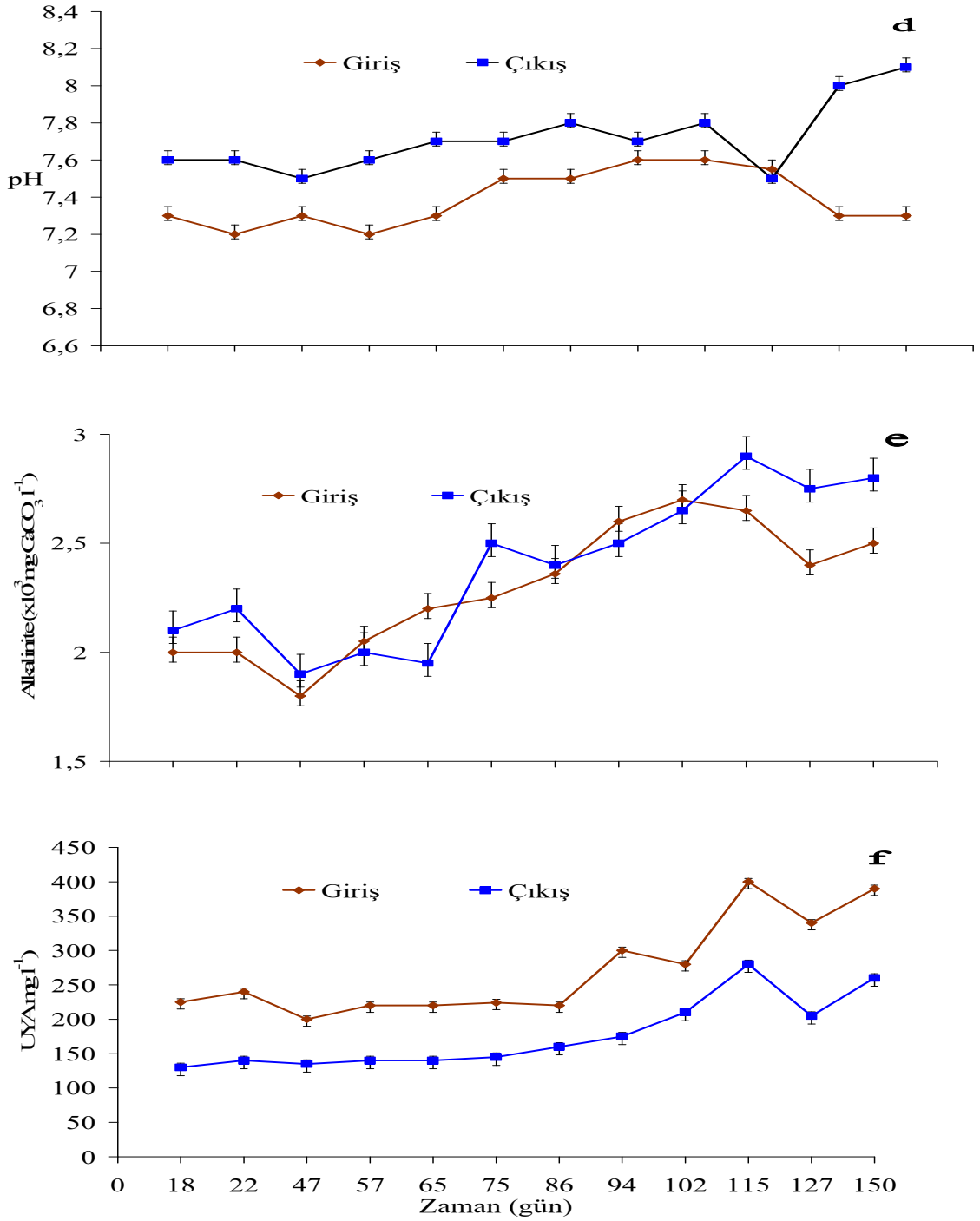
Çizelge 4.18. Kek üretim atık suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları

Gün	Giriş Parametreleri						Çıkış Parametreleri							
	HAS (saat)	KOİ	AKM	OYO	pH	Alk.	KOİ	AKM	Metan	pH	Alk.	UYA	KOİ giderimi (%)	UYA/Alk.
0-18	74	2400	450	0,8	7,3	2000	1300	120	0,62	7,6	2100	130	46	0,06
19-22	60	1350	410	0,54	7,2	2000	620	110	0,509	7,6	2200	140	54	0,06
23-47	53	1600	400	0,73	7,3	1800	340	105	0,97	7,5	1900	135	78	0,07
48-57	48	950	430	0,47	7,2	2050	150	105	0,671	7,6	2000	140	84	0,07
58-65	53	900	410	0,49	7,3	2200	160	100	0,341	7,7	1950	140	82	0,07
66-75	44	750	410	0,52	7,5	2250	145	100	0,706	7,7	2500	145	80	0,06
76-86	36	700	395	0,54	7,5	2360	140	100	0,731	7,8	2400	160	81	0,06
87-94	31	590	390	0,48	7,6	2600	125	105	0,641	7,7	2500	175	78	0,07
95-102	30	490	380	0,42	7,6	2700	100	105	0,558	7,8	2650	210	79	0,08
103-115	26	900	380	0,85	7,55	2650	260	125	0,521	7,5	2900	280	71	0,09
116-126	30	460	378	0,36	7,3	2400	100	120	0,513	8	2750	205	77	0,07
127-150	30	1294	370	0,92	7,3	2500	400	125	1,303	8,1	2,8	260	70	0,09

KOİ (mg l⁻¹); AKM (mg l⁻¹); OYO (g KOİ l⁻¹ gün⁻¹); Alk.: Bikarbonat alkalitesi (mg CaCO₃ l⁻¹); UYA (mg l⁻¹); Metan :l CH₄ l⁻¹ atık su gün⁻¹



Şekil 4.6. Kek üretim atık suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: a) HAS, b) giriş ve çıkış KOİ değeri, c) OYO



Şekil 4.7. Kek üretim atık suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: d) pH, e) giriş ve çıkış bikarbonat alkalinitesi, f) giriş ve çıkış UYA (asetik asit olarak) derişimleri

4.4.2. Alkol Damıtma Atık suyu (Şlempe)

Reaktör çalışmasında kullanılan şlempenin özellikleri çizelge 4.19'da verilmektedir

Çizelge 4.19. Alkol damıtma atık suyunun özellikleri

Parametre	Sonuç
pH	5,7
KOİ (mg l ⁻¹)	27000±250
AKM (mg l ⁻¹)	2850±200
TKM (mg l ⁻¹)	55527±160
UTKM (mg l ⁻¹)	39743±150
Alkalinite (CaCO ₃ mg l ⁻¹)	6845±55
Toplam Fosfor (mg l ⁻¹)	60±5
TKN (mg l ⁻¹)	210±15
Fe (mg l ⁻¹)	45±2
Cr (mg l ⁻¹)	10±1
Ni (mg l ⁻¹)	56±1
Mn (mg l ⁻¹)	67±0,3
Al (mg l ⁻¹)	6±0,5
Cu (mg l ⁻¹)	42±0,4
SO ₄ (mg l ⁻¹)	3400±85
Ca (mg l ⁻¹)	740±20
Zn (mg l ⁻¹)	13±0,8
Mg (mg l ⁻¹)	307±10
S ⁻² (mg l ⁻¹)	2±0,4

Biyokimyasal metan potansiyel denemeleri sonuçlarına göre en yüksek KOİ giderimi ve gaz üretimi 27000 mg l⁻¹ başlangıç KOİ değerinde görülmüştür. Giriş KOİ'si 54000 mg l⁻¹ KOİ değerinde her iki parametrede düşüş gözlenmiştir. Bu yüzden reaktör çalışması ilk olarak 27000 mg l⁻¹ KOİ değerine sahip atık su ile gerçekleştirilmiştir. Toplam 200 gün süren reaktörde arıtım çalışması boyunca R1 için organik yük günde 2,71-5,48 g KOİ l⁻¹ aralığında değiştirilmiştir. Deneme süresince elde edilen bulgular çizelge 4.20 ve 4.21'de verilmektedir.

En uygun HAS'ı belirlemek üzere KOİ sabit tutularak HAS azaltılmıştır. 145. günde optimum HAS 175 saat olarak belirlenmiştir. Organik yüklemenin arttırılmasının reaktör performansına olan etkisini araştırmak için HAS sabit tutularak, 145. günden itibaren aşamalı olarak giriş KOİ'si yükseltilmiştir. Giriş KOİ'sinin 35000±200 mg l⁻¹

ye yükseltilmesi süresince KOİ gideriminde önemli bir değişiklik olmamıştır (%88-89). Ancak 185-200. günlerde $40000 \pm 200 \text{ mg l}^{-1}$ KOİ girişı ile KOİ giderimi %78'e düşmüştür.

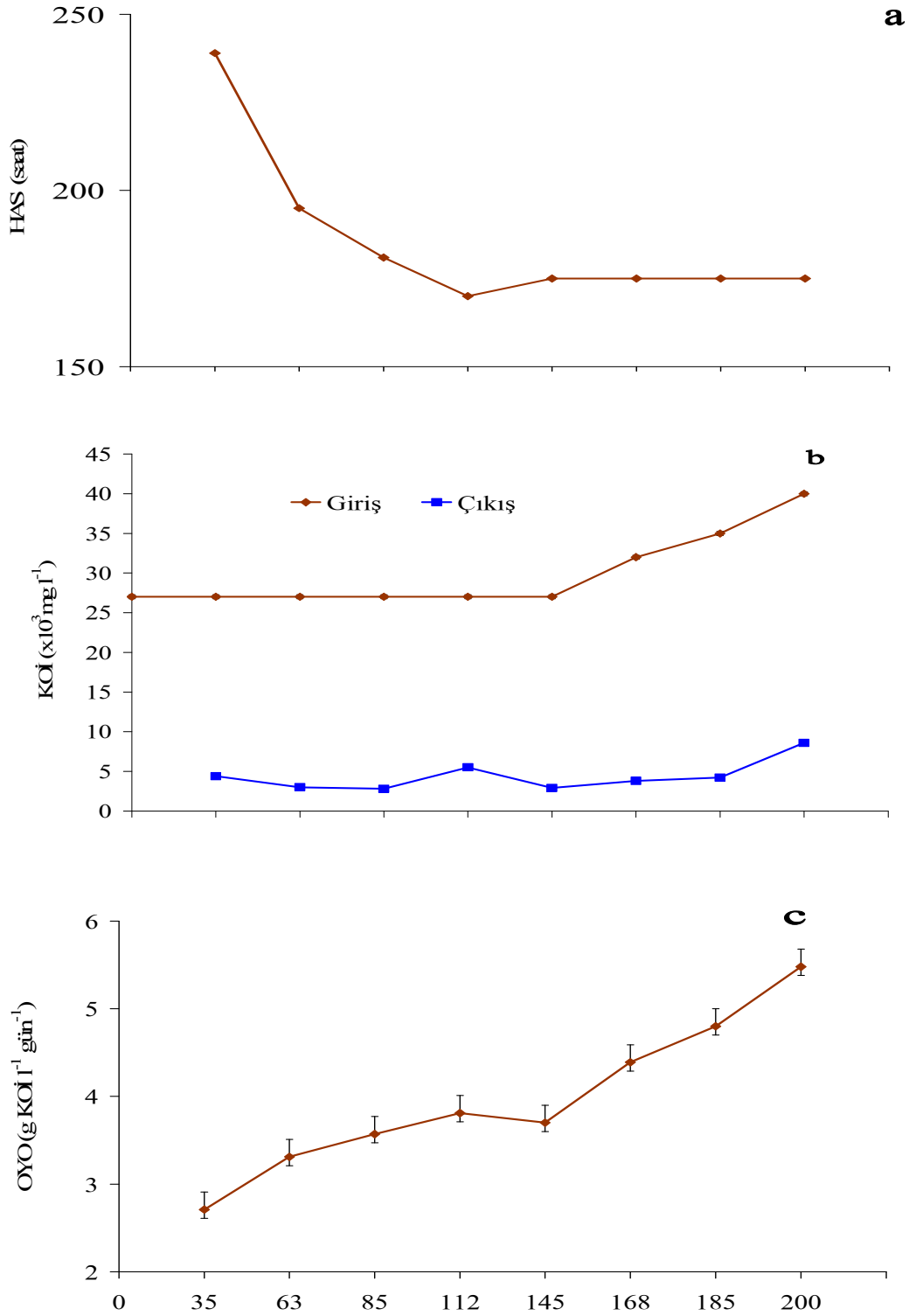
R1 den R2'ye giren suyun KOİ'si $2800-8600 \text{ mg l}^{-1}$ arasında değişmiştir. Bu aralıkta KOİ giderim oranı %66-73 arasında değişmiştir.

Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10 ve 4.11'de çalışma süresince uygulanan HAS, organik yükleme oranları (OYO), giriş ve çıkış KOİ değerleri, pH, bikarbonat alkalinite değerleri ve çıkış UYA derişimleri verilmektedir.

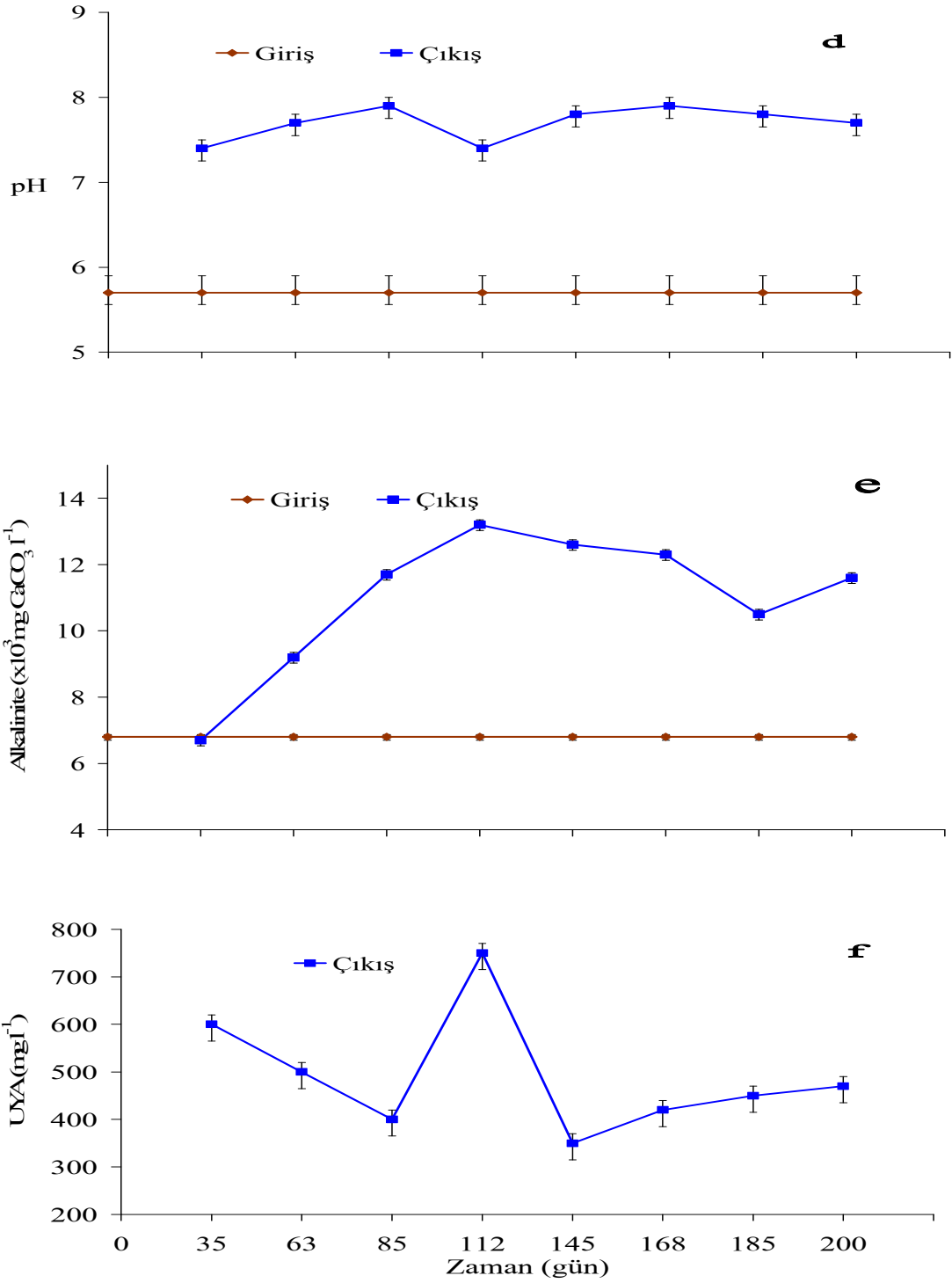
Çizelge 4.20. Şlempenin birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları

Gün	Giriş Parametreleri						Çıkış Parametreleri							
	HAS (saat)	KOİ	AKM	OYO	pH	Alk.	KOİ	AKM	Metan	pH	Alk.	UYA	KOİ giderimi (%)	UYA / Alk.
0-35	239	27000	2800	2,71	5,7	6800	4400	900	3,84	7,4	6700	600	84	0,03
36-63	195	27000	2800	3,31	5,7	6800	3000	750	5,02	7,7	9200	500	89	0,06
63-85	181	27000	2800	3,57	5,7	6800	2800	640	5,44	7,9	11700	400	89	0,04
86-112	170	27000	2800	3,81	5,7	6800	5500	700	5,15	7,4	13200	750	79	0,04
113-145	175	27000	2800	3,7	5,7	6800	2900	680	5,6	7,8	12600	350	89	0,02
146-168	175	32000	3300	4,39	5,7	6800	3800	790	6,56	7,9	12300	420	88	0,02
169-185	175	35000	3700	4,8	5,7	6800	4200	850	7,16	7,8	10500	450	88	0,02
185-200	175	40000	3900	5,48	5,7	6800	8600	870	7,3	7,7	11600	470	78	0,02

KOİ (mg l^{-1}); AKM (mg l^{-1}); OYO ($\text{g KOİ l}^{-1} \text{ gün}^{-1}$); Alk.: Bikarbonat alkalitesi ($\text{mg CaCO}_3 \text{ l}^{-1}$); UYA (mg l^{-1}); Metan *: $1 \text{ CH}_4 \text{ l}^{-1}$ atık su gün^{-1}



Şekil 4.8. Şlempenin birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde artırım sonuçları: a) HAS, b) giriş ve çıkış KOİ değeri, c) OYO

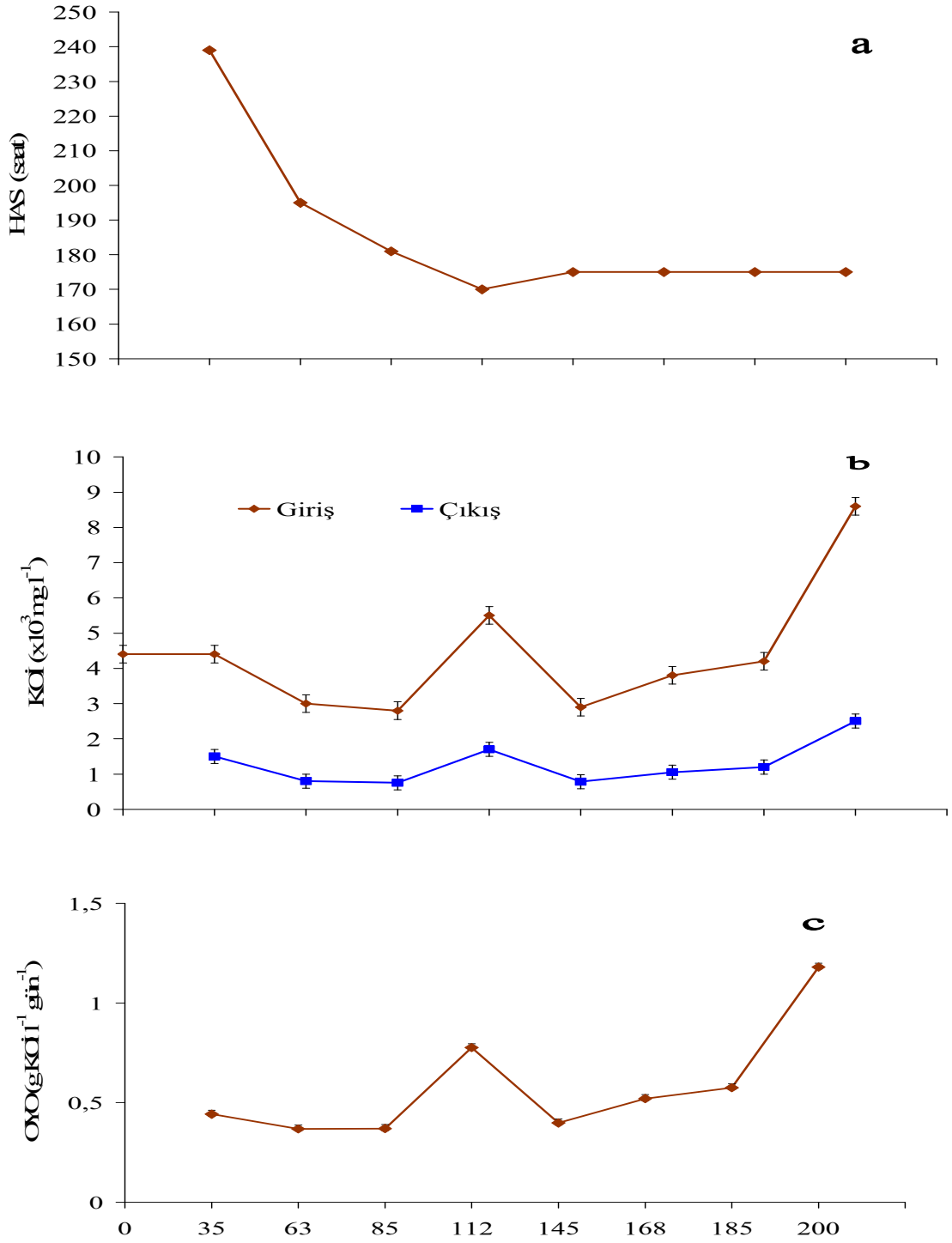


Şekil 4.9. Şlempenin birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: d) pH, e) giriş and çıkış bikarbonat alkalinitesi, f) çıkış UYA (asetik asit olarak) derişimi.

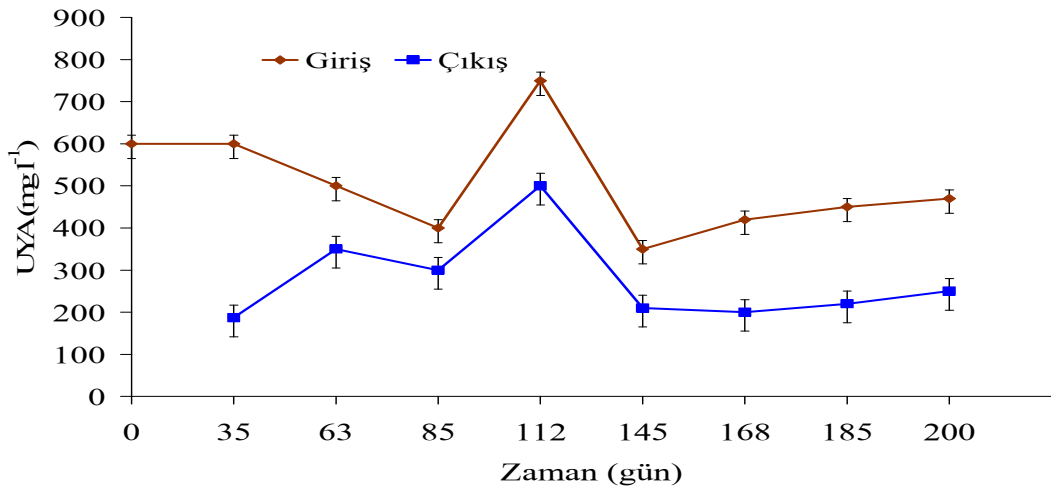
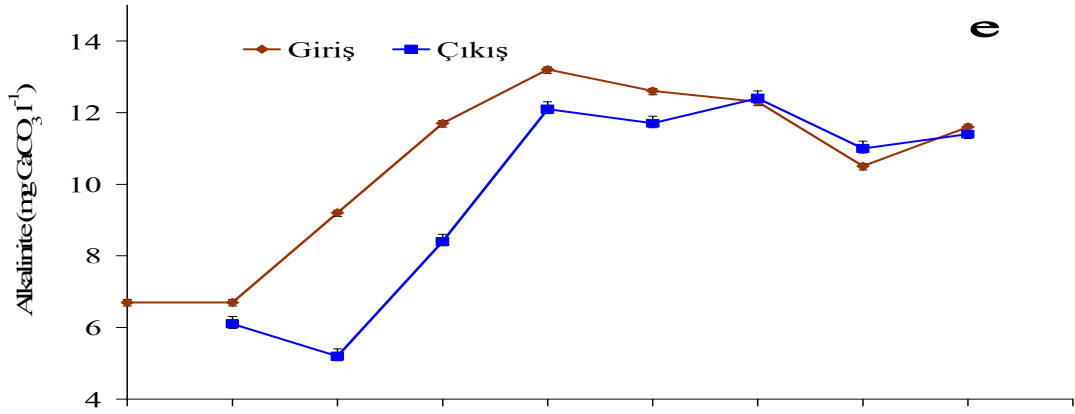
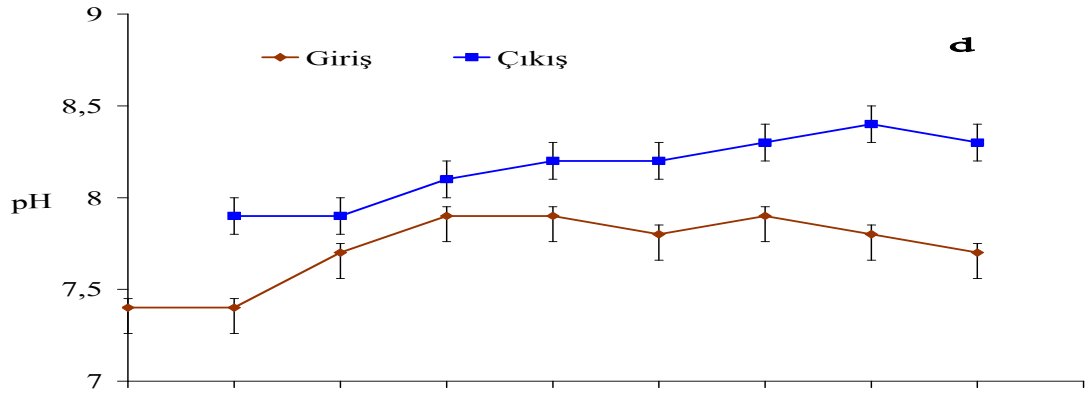
Çizelge 4.21. Şlempenin ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları

Gün	Giriş Parametreleri						Çıkış Parametreleri							
	HAS (saat)	KOİ	AKM	OYO	pH	Alk.	KOİ	AKM	Metan	pH	Alk.	UYA	KOİ giderimi (%)	UYA/ Alk.
0-35	239	4400	900	0,44	7,4	6700	1500	590	0,492	7,9	6100	187	66	0,03
36-63	195	3000	750	0,36	7,4	9200	800	420	0,458	7,9	5200	350	73	0,06
63-85	181	2800	640	0,37	7,7	11700	750	300	0,461	8,1	8400	300	73	0,04
86-112	170	5500	700	0,77	7,9	13200	1700	420	0,911	8,2	12100	500	70	0,04
113-145	175	2900	680	0,39	7,9	12600	780	350	0,493	8,2	11700	210	73	0,02
146-168	175	3800	790	0,52	7,8	12300	1050	500	0,64	8,3	12400	200	72	0,02
169-185	175	4200	850	0,57	7,9	10500	1200	510	0,698	8,4	11000	220	73	0,02
185-200	175	8600	870	1,18	7,8	11600	2500	530	1,419	8,3	11400	250	71	0,02

KOİ (mg l⁻¹); AKM (mg l⁻¹); OYO (g KOİ l⁻¹ gün⁻¹); Alk.: Bikarbonat alkalitesi (mg CaCO₃ l⁻¹); UYA (mg l⁻¹); Metan : l CH₄ l⁻¹ atık su gün⁻¹



Şekil 4.10. Şlempenin ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: a) HAS, b) giriş ve çıkış KOİ derişimi, (c) OYO.



Şekil 4.11. Şlempenin ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: d) pH, e) giriş ve çıkış bikarbonat alkalinitesi, f) giriş ve çıkış UYA (asetik asit olarak) derişimi.

4.4.2.1. Şlempenin anaerobik arıtımı sırasında iyon giderimi

Başlangıç KOİ'nin 27000 mg l⁻¹, HAS'ın 175 saat olduğu koşullarda her iki reaktörde (R1 ve R2) giriş ve çıkış iyon konsantrasyonları takip edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.22'de verilmektedir.

Çizelge 4.22. Anaerobik arıtım öncesi ve sonrası ortalama iyon derişimleri (mg l⁻¹)

Parametre	Giriş	R1	%Giderim	R2	%Giderim	Toplam giderim(%)
Fe ²⁺	45	15	67	12	20	73
Cr ³⁺	10	5	50	5	-	50
Ni ²⁺	56	49	13	44	10	21
Mn ²⁺	67	64	4,5	46	28	27
Al ²⁺	6	1	83	1	-	83
Cu ²⁺	42	15	64	8	47	81
SO ₄ ²⁻	3400	2400	29	540	78	84
Ca ²⁺	700	400	43	380	5	46
Zn ²⁺	13	7	46	6	14	54
Mg ²⁺	307	26	92	25	4	92

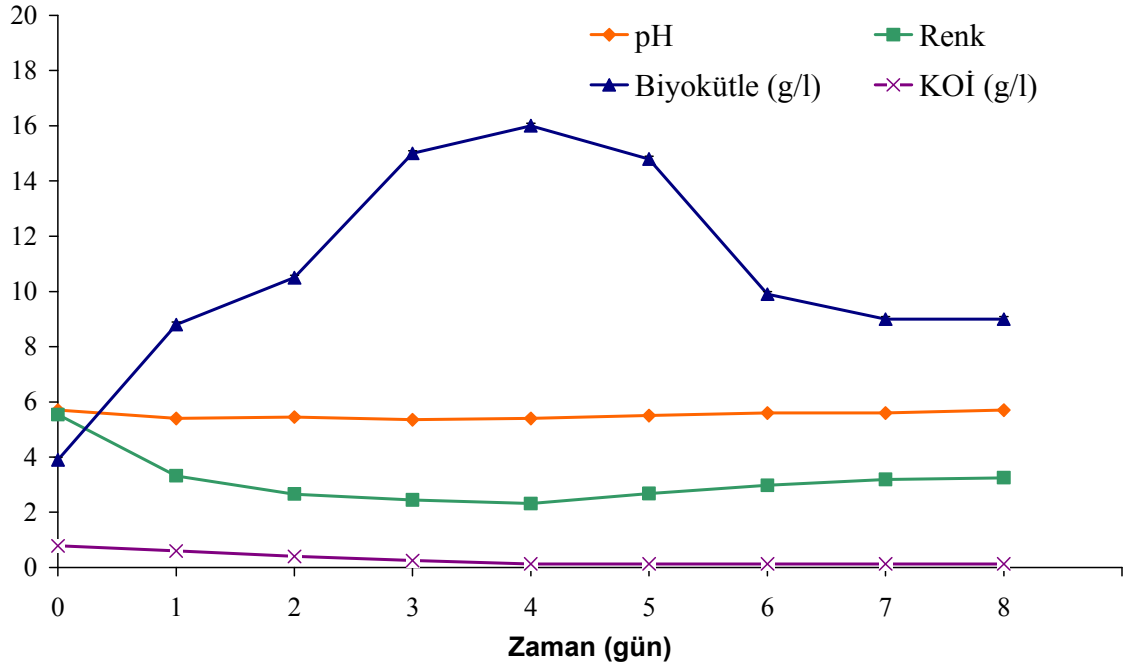
Fe²⁺, Cr³⁺, Al²⁺, Cu²⁺, ve Mg²⁺ iyonlarının R1 çıkışında %50 nin üzerindeki oranlarda giderildiği, Mn²⁺ ve SO₄²⁻'ün ise R2'nin çıkışında sırasıyla % 28 ve %77 oranında giderildiği görülmektedir. Toplam giderim (R1+R2) özellikle Mg²⁺, SO₄²⁻, Al²⁺, Cu²⁺'da sırasıyla %92, %84, %83, %81 oranında gerçekleşmiştir.

4.4.2.2. Cıkış suyuna uygulanan aerobik arıtım sonuçları

27000 mg l⁻¹ KOİ oranına sahip şlempenin anaerobik arıtımı sonucu çıkan ve KOİ'si 780±50 mg l⁻¹ arasında değişen atık suyun 3 küf ve aktif çamur ile ayrı ayrı aerobik arıtımı incelenmiştir. Küflerle aerobik arıtım sonuçları sırasıyla çizelge 4.23, 4.24 ve 4.25 ve şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'de verilmektedir. Aktif çamur ile elde edilen sonuçlar çizelge 4.26 ve şekil 4.15'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. *P. decumbens* ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları

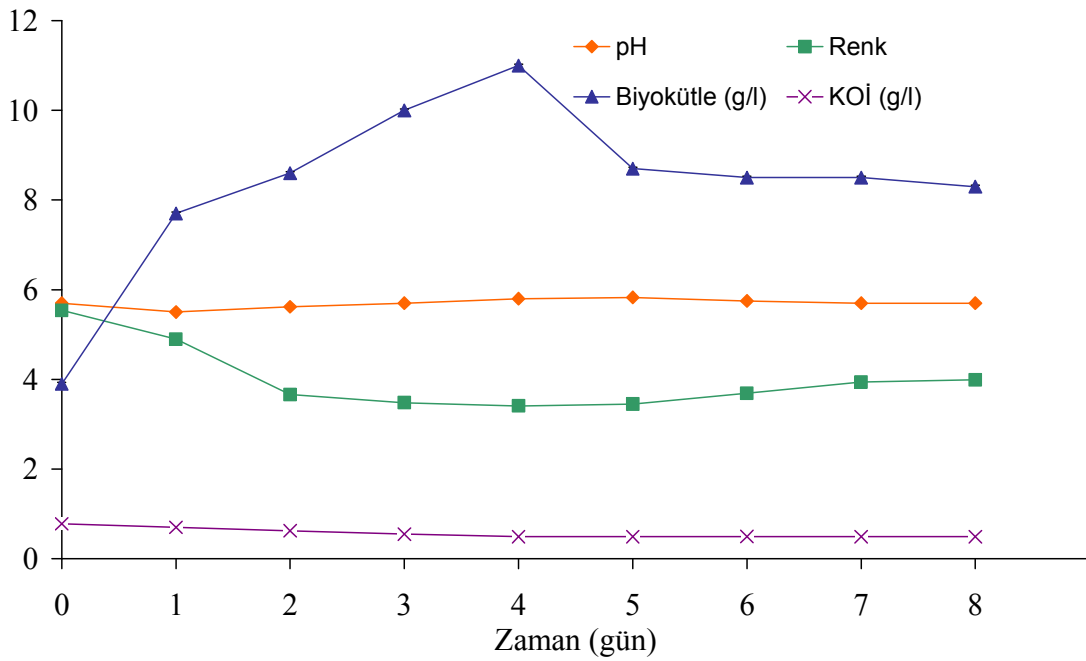
	0.gün	1.gün	2.gün	3.gün	4.gün	5.gün	6.gün	7.gün	8. gün
pH	5,7	5,4	5,45	5,35	5,4	5,5	5,6	5,6	5,7
Renk (A_{475})	5,54	3,32	2,66	2,45	2,32	2,68	2,98	3,19	3,25
Biyokütle ($g\ l^{-1}$)	3,9	8,8	10,5	15	16	14,8	9,9	9	9
KOİ($g\ l^{-1}$)	0,78	0,6	0,4	0,25	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Fe ($mg\ l^{-1}$)	12	7	7	6	6	6	6	6	6
Al ($mg\ l^{-1}$)	1	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Cr ($mg\ l^{-1}$)	5	4	3	3	3	3	3	3	3
Mn ($mg\ l^{-1}$)	46	39	39	39	39	39	39	39	39
Cu ($mg\ l^{-1}$)	8	8	7	6	6	6	6	6	6

**Şekil 4.12.** *P. decumbens* ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları

Şekil 4.23'de görüldüğü gibi 4. güne kadar biyomasda hızlı bir artış gözlenmiştir. pH'da önemli bir değişiklik olmamıştır. KOİ giderimi ise 4. güne kadar devam etmiştir. Tüm iyonlarda giderimin büyük bir kısmının 24 saat içinde gerçekleştiği, 3. güne kadar giderimin yavaş şekilde devam ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.24. *P. crustocum* ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları

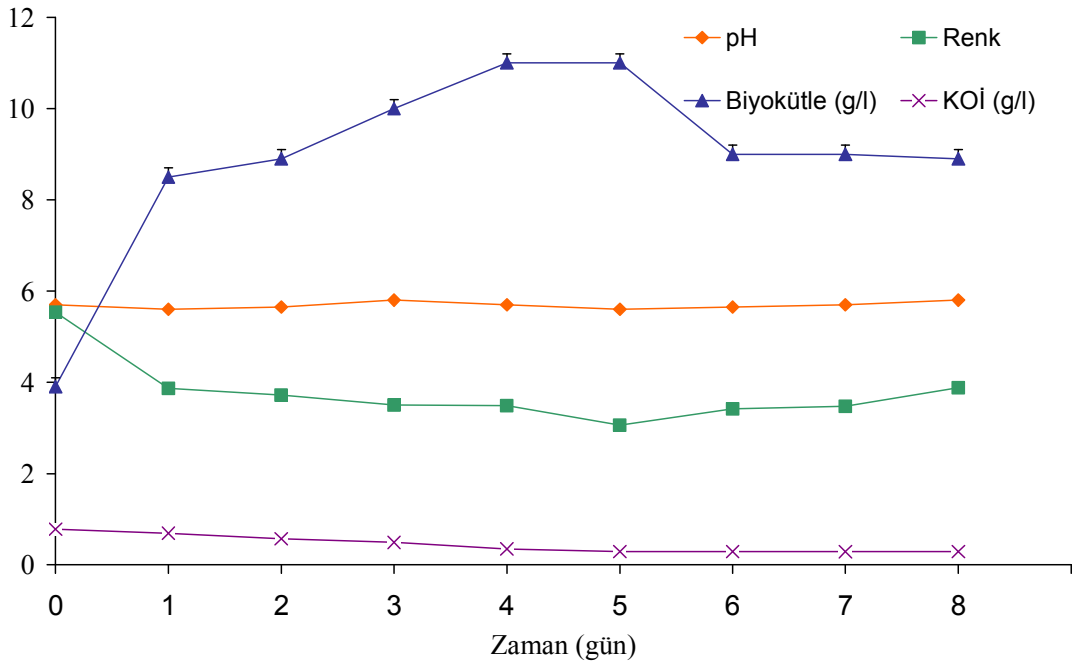
	0.gün	1.gün	2.gün	3.gün	4.gün	5.gün	6.gün	7.gün	8. gün
pH	5,7	5,5	5,62	5,7	5,8	5,83	5,75	5,7	5,7
Renk(A_{475})	5,54	4,896	3,659	3,479	3,409	3,45	3,69	3,94	3,99
Biyokütle ($g\ l^{-1}$)	3,9	7,7	8,6	10	11	8,7	8,5	8,5	8,3
KOİ ($g\ l^{-1}$)	0,78	0,7	0,625	0,55	0,49	0,49	0,495	0,49	0,49

**Şekil 4.13.** *P. crustocum* ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları

Biyokütlede 4. güne kadar gözlenen artışa paralel olarak renkte ve KOİ gideriminde artış gözlenmektedir.

Çizelge 4.25. *A. niger* ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları

	0. gün	1.gün	2.gün	3.gün	4.gün	5.gün	6.gün	7.gün	8. gün
pH	5,7	5,6	5,65	5,8	5,7	5,6	5,65	5,7	5,8
Renk(A_{475})	5,54	3,87	3,72	3,5	3,49	3,06	3,42	3,47	3,88
Biyokütle ($g\ l^{-1}$)	3,9	8,5	8,9	10	11	11	9	9	8,9
KOİ ($g\ l^{-1}$)	0,78	0,69	0,57	0,49	0,35	0,29	0,29	0,285	0,29

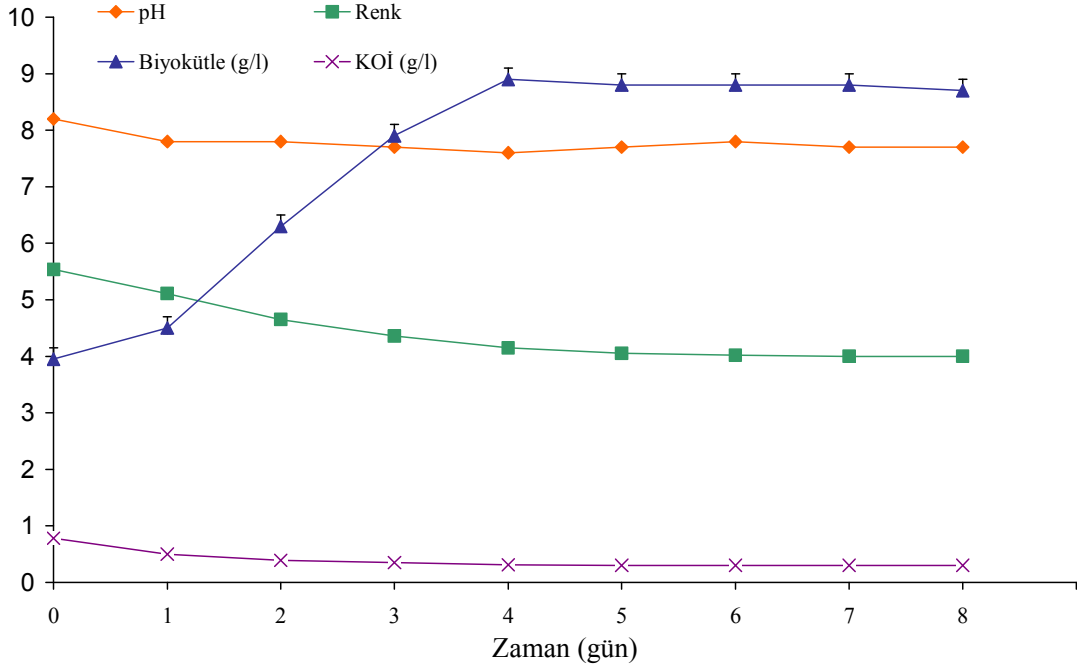


Şekil 4.14. *A. niger* ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları

4. güne kadar *A. niger* biyokütlesinde hızlı artışla birlikte renk ve KOİ gideriminde artış görülmüştür.

Çizelge 4.26. Aktif çamur ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları

	0. gün	1.gün	2.gün	3.gün	4.gün	5.gün	6.gün	7.gün	8. gün
pH	8,2	7,8	7,8	7,7	7,6	7,7	7,8	7,7	7,7
Renk(A_{475})	5,54	5,11	4,65	4,36	4,15	4,05	4,02	4,0	4,0
Biyokütle ($g\ l^{-1}$)	3,95	4,5	6,3	7,9	8,9	8,8	8,8	8,8	8,7
KOİ ($g\ l^{-1}$)	0,78	0,5	0,39	0,35	0,31	0,3	0,3	0,3	0,3



Şekil. 4. 15. Aktif çamur ile şlempenin aerobik arıtım sonuçları

Anaerobik arıtım sonrası şlempeye aerobik arıtımın uygulanmasında, inokulum olarak aktif çamur kullanıldığında biyokütlede hızlı bir artışa paralel olarak hızlı bir renk ve KOİ giderimi görülmüştür.

4.4.3. Peynir altı Suyu

Reaktör çalışmasında kullanılan peynir altı suyunun özellikleri çizelge 4.27'de verilmektedir.

Süt ürünleri üretimi yapan bir fabrikadan alınan peynir altı suyuna uygulanan BMP sonuçlarına göre denenen en yüksek KOİ konsantrasyonuna kadar (30000 mg l^{-1}) herhangi bir inhibisyon görülmeksizin gaz ve KOİ gideriminde paralel olarak artış görülmüştür. Bu nedenle reaktör çalışmalarında şlempede olduğu gibi KOİ açısından sınır bir değer belirlenememiş ve ilk olarak HAS süresi sabit tutularak giriş KOİ değeri kademeli olarak arttırılmıştır. 120 saatlik HAS'da 76-92. günler arasında giriş KOİ'si 40000 mg l^{-1} olduğunda %94'lük KOİ giderimi görülmüştür. 93-108. günler arasında 50000 mg l^{-1} KOİ değerinde arıtım %91' düşmüştür. Bu yüzden giriş KOİ değeri 45000 mg l^{-1} düşürülmüş ve 109-123. günler arasında takip edilmiştir ve KOİ giderimi açısından %93'lük giderim elde edilmiştir. Giriş KOİ'si olarak 45000 mg l^{-1} karar

verilmiş ve ikinci aşamada HAS'de değişiklik yapılmıştır. HAS 85 saate kadar düşürüldüğünde KOİ gideriminde önemli bir değişiklik olmamış ancak HAS'ın 72 saate düşmesi durumunda düşüş belirginleşmiştir (%85). 185 gün süren çalışmalar boyunca elde edilen sonuçlar Çizelge 4.28 ve 4.29'da verilmektedir.

Çizelge 4.27. Peynir altı suyunun özellikleri

Parametre	Sonuç
pH	4,3
KOİ (mg l ⁻¹)	90000±500
AKM (mg l ⁻¹)	6000±100
UAKM (mg l ⁻¹)	2200±50
TKM (mg l ⁻¹)	64000±450
UTKM (mg l ⁻¹)	55000±700
Alkalinite (CaCO ₃ mg l ⁻¹)	2600±100
Toplam Fosfor (mg l ⁻¹)	200±50
Yağ-gres	13000±150
TKN (mg l ⁻¹)	57±20
Fe (mg l ⁻¹)	22±0,4
Ni (mg l ⁻¹)	81±0.8
Mn (mg l ⁻¹)	92±0.2
Al (mg l ⁻¹)	7±0.2
Cu (mg l ⁻¹)	44±0,4
Ca (mg l ⁻¹)	50±5
Zn (mg l ⁻¹)	39±0.6
Mg (mg l ⁻¹)	45±5
K (mg l ⁻¹)	100±10

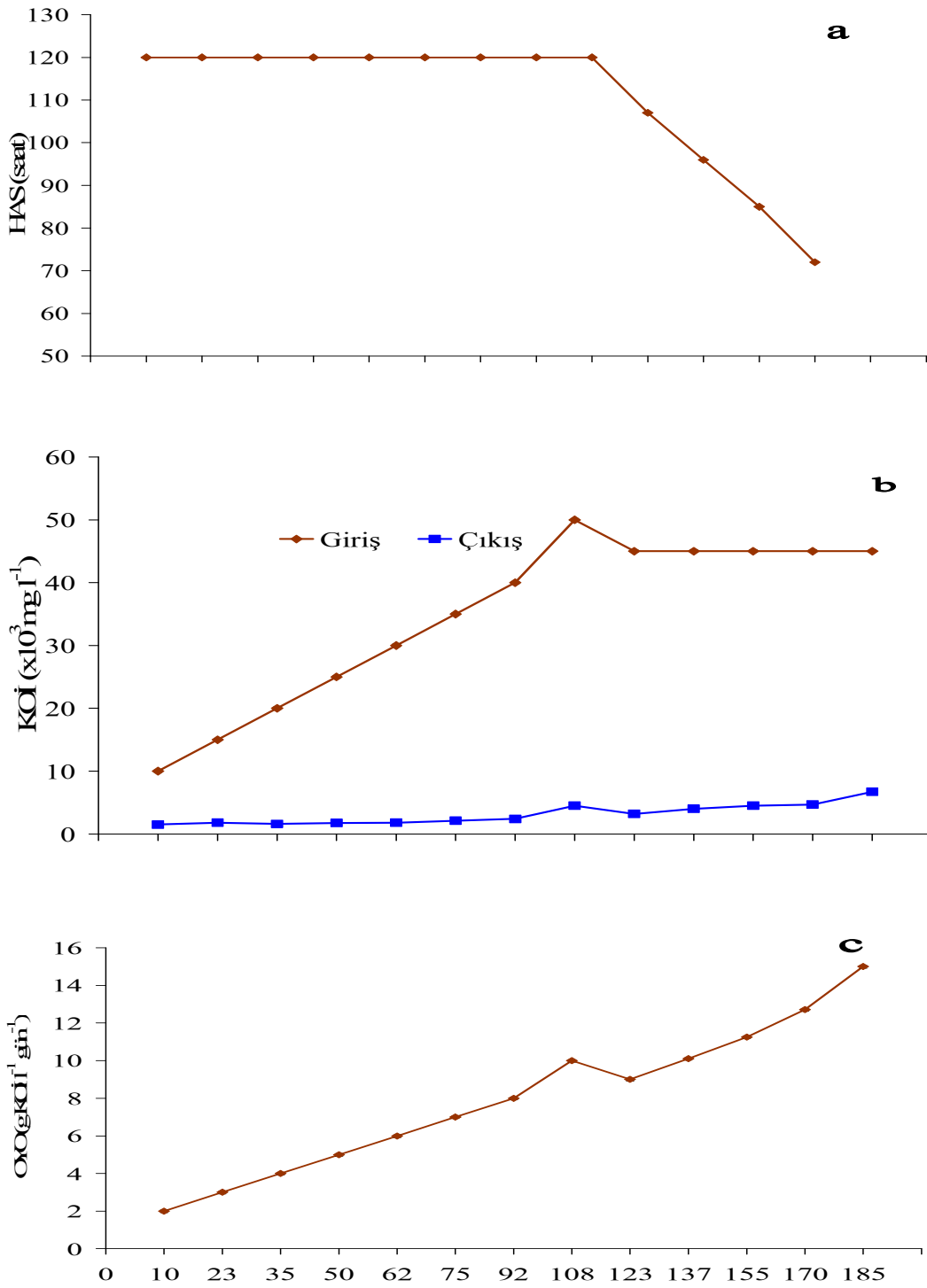
R1 den R2'ye giren suyun KOİ'si 1500-6700 mg l⁻¹ arasında değişmiştir. Bu aralıkta KOİ giderim oranı %83-88 arasında değişiklik göstermiştir (Çizelge 4.29).

Ayrıca çalışma süresince HAS, organik yükleme oranları (OYO), giriş ve çıkış KOİ derişimleri, pH, bikarbonat alkalinite değerleri ve çıkış UYA derişimleri şekil 4.16, 4.17, 4.18 ve 4.19'da gösterilmiştir.

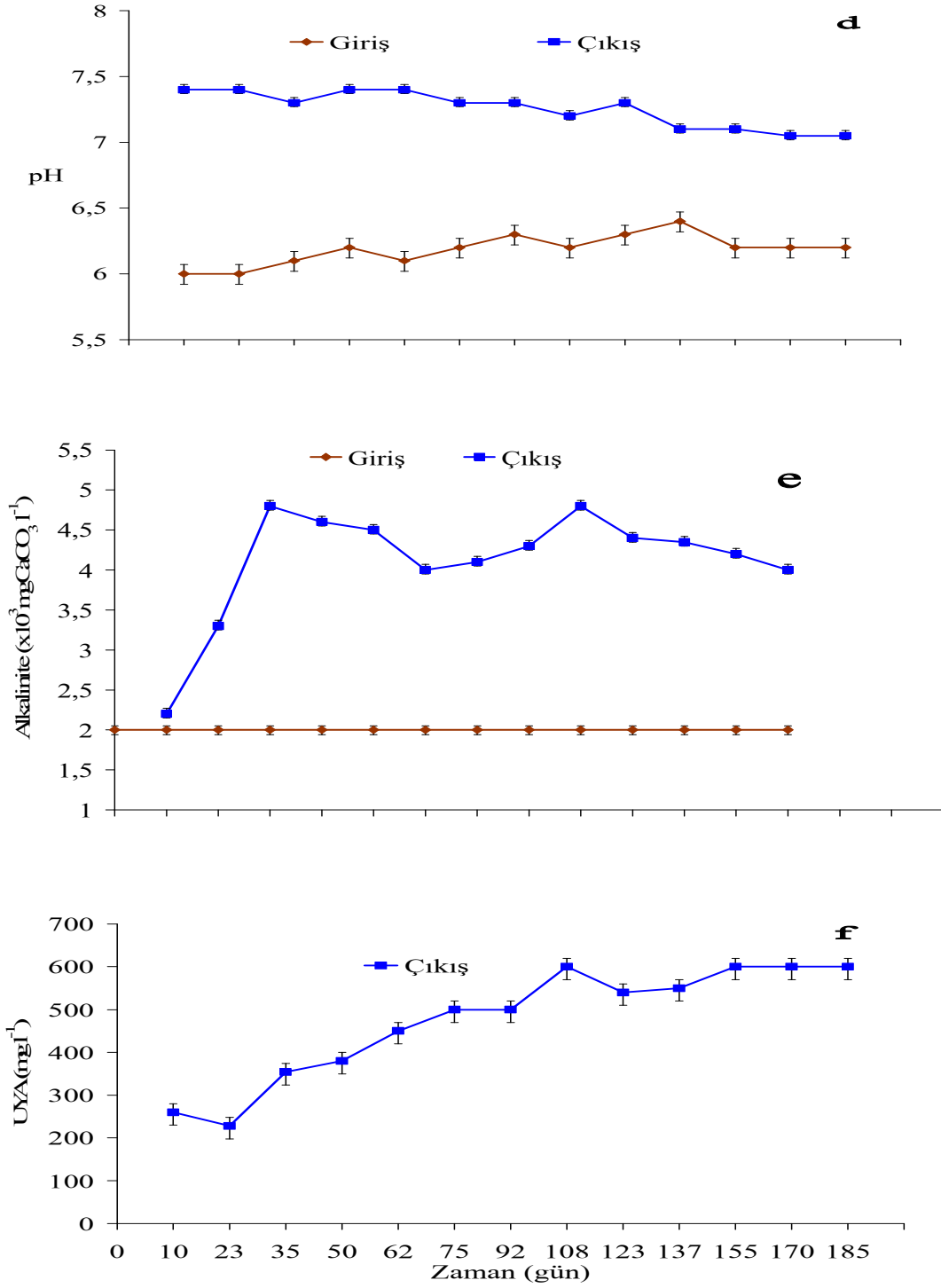
Çizelge 4.28. Peynir altı suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen artım sonuçları

Gün	Giriş Parametreleri							Çıkış Parametreleri								
	HAS (saat)	KOİ	AKM	OYO	pH	Alk.	Yağ-gres	KOİ	AKM	Metan*	pH	Alk.	UYA	Yağ-gres	KOİ giderimi (%)	UYA/Alk
0-10	120	10000	650	2	6	2000	1400	1500	190	2,88	7,4	2200	260	400	85	0,11
11-23	120	15000	1000	3	6	2000	2100	1800	230	4,48	7,4	3300	228	580	88	0,07
24-35	120	20000	1300	4	6,1	2000	2800	1600	250	6,25	7,3	4800	354	750	92	0,07
36-50	120	25000	1600	5	6,2	2000	3600	1750	400	7,9	7,4	4600	380	900	93	0,08
51-62	120	30000	2000	6	6,1	2000	4300	1800	450	9,58	7,4	4500	450	1100	94	0,1
63-75	120	35000	2300	7	6,2	2000	5000	2100	460	11,17	7,3	4000	500	1200	94	0,12
76-92	120	40000	2600	8	6,3	2000	5700	2400	460	12,7	7,3	4100	500	1300	94	0,12
93-108	120	50000	330	10	6,2	2000	7200	4500	600	15,12	7,2	4300	600	1700	91	0,14
109-123	120	45000	3000	9	6,3	2000	6500	3200	580	15,54	7,3	4800	540	1500	93	0,11
124-137	107	45000	3000	10,11	6,4	2000	6500	4000	990	14,4	7,1	4400	550	1600	91	0,12
139-155	96	45000	3000	11,25	6,2	2000	6500	4500	1250	14,19	7,1	4350	600	1700	90	0,14
156-170	85	45000	3000	12,71	6,2	2000	6500	4700	1300	13,8	7,05	4200	600	1750	90	0,14
171-185	72	45000	1400	15	6,2	2000	6500	6700	1400	13,1	7,05	4000	600	1740	85	0,15

KOİ (mg l⁻¹); AKM (mg l⁻¹); OYO (g KOİ l⁻¹ gün⁻¹); Alk.: Bikarbonat alkalitesi (mg CaCO₃ l⁻¹); UYA (mg l⁻¹); Metan *: l CH₄ l⁻¹ atık su gün⁻¹



Şekil 4.16. Peynir altı suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: a) HAS, b) giriş ve çıkış KOİ değerleri, c) OYO

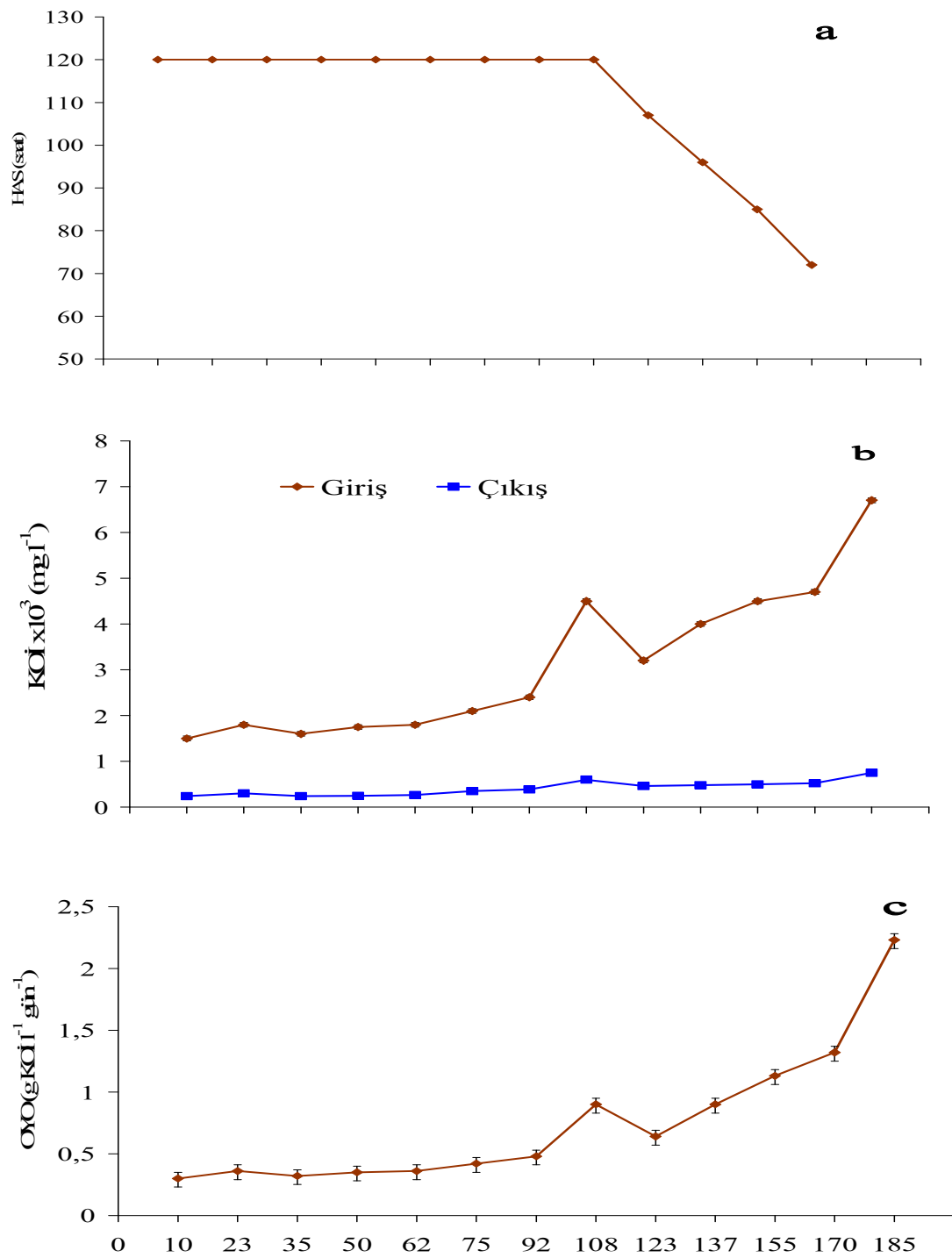


Şekil 4.17. Peynir altı suyunun birinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: d) pH, e) giriş ve çıkış bikarbonat alkalinitesi, f) çıkış UYA (asetik asit olarak) derişimleri.

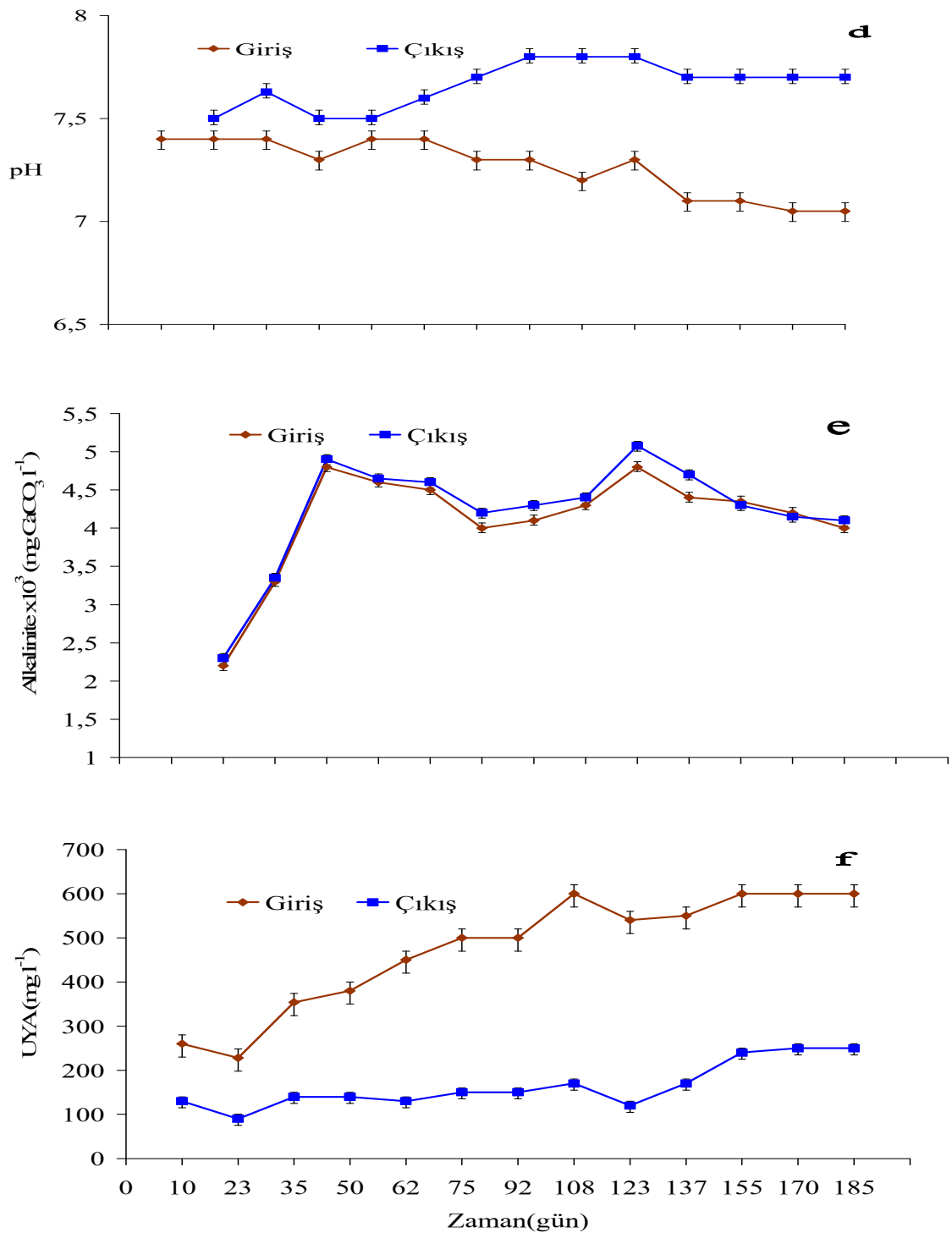
Çizelge 4.29. Peynir altı suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgululu yatak reaktörde değişik deneme koşulları altında gerçekleştirilen arıtım sonuçları

Gün	Giriş Parametreleri								Çıkış Parametreleri								
	HAS (saat)	KOİ	AKM	OYO	pH	Alk.	UYA	Yağ-gres	KOİ	AKM	Metan	pH	Alk.	UYA	Yağ-gres	KOİ giderimi (%)	UYA / Alk.
0-10	120	1500	190	0,3	7,4	2200	260	400	240	50	0,42	7,5	2300	130	100	84	0,05
11-23	120	1800	230	0,36	7,4	3300	228	580	300	75	0,50	7,6	3350	90	120	83	0,03
24-35	120	1600	250	0,32	7,3	4800	354	750	240	90	0,46	7,5	4900	140	180	85	0,03
36-50	120	1750	400	0,35	7,4	4600	380	900	250	100	0,5	7,5	4650	140	220	85	0,03
51-62	120	1800	450	0,36	7,4	4500	450	1100	265	100	0,52	7,6	4600	130	290	85	0,03
63-75	120	2100	460	0,42	7,3	4000	500	1200	350	110	0,59	7,7	4200	150	300	83	0,03
76-92	120	2400	460	0,48	7,3	4100	500	1300	390	100	0,68	7,8	4300	150	300	83	0,03
93-108	120	4500	600	0,9	7,2	4300	600	1700	600	160	1,2	7,8	4400	170	350	86	0,04
109-123	120	3200	580	0,64	7,3	4800	540	1500	460	155	0,93	7,8	5076	120	400	85	0,02
124-137	107	4000	990	0,9	7,1	4400	550	1600	480	205	1,3	7,7	4700	170	420	88	0,04
139-155	96	4500	1250	1,13	7,1	4350	600	1700	500	260	1,5	7,7	4300	240	450	88	0,05
156-170	85	4700	1300	1,32	7,05	4200	600	1750	520	300	1,6	7,7	4150	250	450	88	0,06
171-185	72	6700	1400	2,23	7,05	4000	600	1740	750	400	1,8	7,7	4100	250	440	88	0,06

KOİ (mg l⁻¹); AKM (mg l⁻¹); OYO (g KOİ l⁻¹ gün⁻¹); Alk.: Bikarbonat alkalitesi (mg CaCO₃ l⁻¹); UYA (mg l⁻¹); Metan : l CH₄ l⁻¹ atık su gün⁻¹



Şekil 4.18. Peynir altı suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: a) HAS, b) giriş ve çıkış KOİ değerleri, c) OYO.



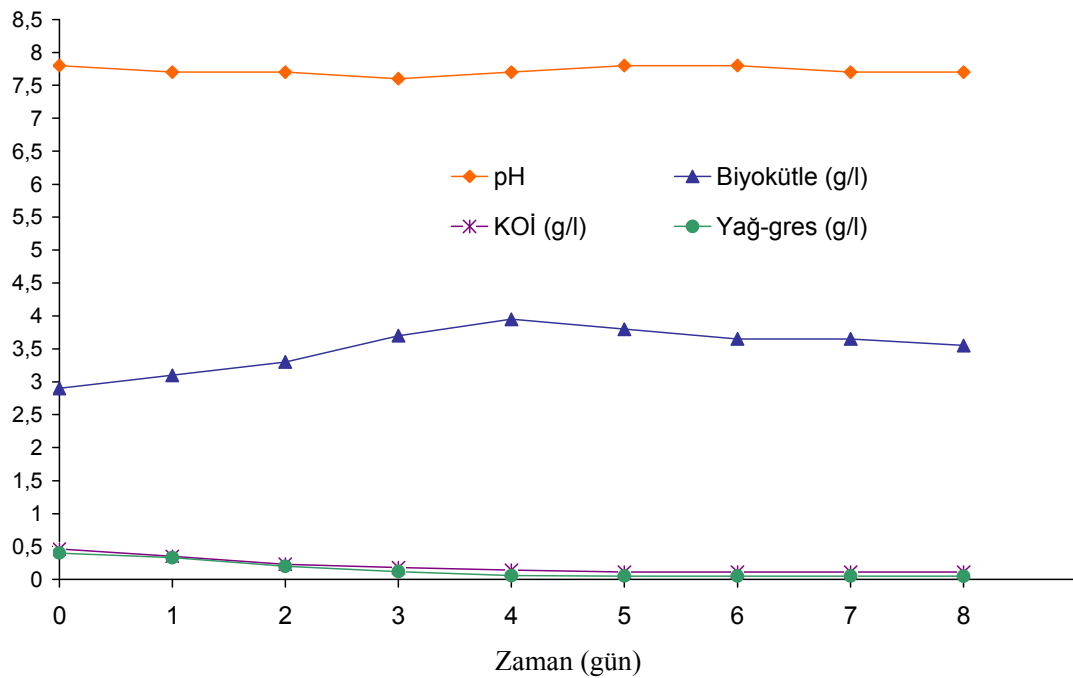
Şekil 4.19. Peynir altı suyunun ikinci yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak reaktörde arıtım sonuçları: d) pH, e) giriş ve çıkış bikarbonat alkalinitesi, f) giriş ve çıkış UYA (asetik asit olarak) derişimleri.

4.4.3.1. Aerobik Arıtım Sonuçları

Aktif çamur kullanılarak yapılan aerobik arıtım sonucu elde edilen veriler çizelge 4.30 ve şekil 4.18’de verilmektedir.

Çizelge 4.30. Aktif çamur ile peynir altı suyunun aerobik arıtım sonuçları

	0. gün	1.gün	2.gün	3.gün	4.gün	5.gün	6.gün	7.gün	8. gün
pH	7,8	7,7	7,7	7,6	7,7	7,8	7,8	7,7	7,7
Biyokütle (g l ⁻¹)	2,9	3,1	3,3	3,7	3,9	3,8	3,65	3,65	3,55
KOİ (g l ⁻¹)	0,46	0,35	0,23	0,18	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11
Yağ-Gres (g l ⁻¹)	0,4	0,33	0,2	0,12	0,066	0,055	0,055	0,05	0,048



Şekil 4.20. Aktif çamur ile peynir altı suyunun aerobik arıtım sonuçları

5. TARTIŞMA

Ülkelerin artan nüfus ve gelişen teknolojilerine bağlı olarak enerjiye olan ihtiyaçları her geçen gün artmaktadır. Gelecekte karşılaşılabilecek çevresel sorunlar sadece doğal kaynakların tükenmesinden değil, aynı zamanda nasıl tüketildiği ile de ilgilidir. Fosil enerji kaynaklarının tükeneceği gerçeği, yenilenebilir enerji kaynaklarının artan önemini vurgulamaktadır. Tarımsal, hayvansal ve endüstriyel atıklardan biyogaz üretilmesi hem çevre kirliliğinin azaltılmasını hem de çevre dostu enerji üretimini sağlayacaktır. Sanayileşmeye paralel olarak yürütülen çevre kirlenmesi kontrolünde kuvvetli (yüksek organik madde içerikli) atık su oluşturan sanayiler için en ekonomik seçenek olarak tüm dünyada anaerobik arıtım sistemleri uygulama alanı bulmuştur. Enerji kullanımının ve tasarrufunun çok önemli olduğu yurdumuzda da yaygın bir uygulama alanı bulması kaçınılmaz bir sonuçtur. Ancak tüm teknolojik uygulamalarda olduğu gibi, anaerobik arıtım teknolojilerinin uygulamalarında da ayrıntılı bilgi birikimi gerekmektedir. Bu nedenle anaerobik sistemlerin teknolojik esaslarının belirlenmesi yönünde yürütülen çalışmalar mevcut bilgi birikimine katkıda bulunacak ve sistemlerin endüstriyel ölçekte uygulamaya konması aşamasında kuruluş ve işletme problemlerinin en aza indirilmesine yardımcı olacaktır.

Bu amaçla başlatılan çalışmada ilk olarak, İç Anadolu Bölgesini temsilen Eskişehir civarında yer alan yüksek organik atık oluşturan işletmeler belirlenmiştir. Eskişehir ilinde tarıma dayalı 24 sanayi kuruluşunun olduğu belirlenmiş ve ön görüşmeler sonucu üretim ile beraber atık su oluşumu gözlenen toplam 11 işletme ile bağlantı kurularak deşarj noktalarından 2 saatlik kompozit örnekler alınmış ve atık suların KOİ değerleri belirlenmiştir. Anaerobik arıtım ancak 2500 mg l⁻¹ üzerinde KOİ'ye sahip atık sulara uygulandığında, aerobik arıtıma göre daha avantajlıdır (Öztürk, 1999). Buna dayanarak KOİ'si belirlenen 11 işletmeden 9'unun KOİ açısından anaerobik arıtıma uygun olabileceği anlaşılmıştır.

Organik atık içeren atık suların anaerobik arıtılabilirliği hakkında ön bilgiler uzun süreli BMP deneyleri ile sağlanmaktadır. Süresi 30 günden daha kısa olan BMP deney sonuçları anaerobik arıtım ile ilgili temel özellikler hakkında yeterli bir bilgi vermediği

bildirilmiştir (Öztürk, 1999). Bu nedenle incelenen atık sulara ait BMP çalışmaları 60. güne kadar sürdürülmüştür.

Anaerobik koşulların sürekliliğinin takibi bir indikatör olan resazurin ile sağlanmıştır. Ayrıca atık su içinden azot gazı geçirilerek anaerobik koşulların oluşması desteklenmiştir. Her iki yöntem bu tip çalışmalarda literatürde çeşitli araştırmalarda uygulama alanına sahiptir (Owen,1979, Shelton and Tiedge, 1984, Boone and Xun, 1987). BMP denemeleri üzerine yapılan çalışmalarda her iki yöntemin de uygulandığı görülmektedir. Gerek resazurin ilavesi gerekse azot gazı uygulaması ucuz ve pratik yöntemler olması nedeniyle tercih edilmektedir.

Anaerobik arıtım sırasında oluşan biyogazın bileşimindeki metan oranının belirlenmesinde pratik bir yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemde oluşan biyogazın %2'lik KOH içeren çözeltilerden geçirilerek H₂S, CO₂ gibi metan dışındaki gazlar tutulur ve kalan gaz yüksek oranda metan içerir. Ancak bu yöntem metan oranı hakkında yaklaşık bilgi verir (Owen,1979, Shelton and Tiedge, 1984).

Belirlenen işletmelerden alınan 9 atık suyla yapılan BMP denemeleri, kullanılan inokulum tipine, bazal ortam ilavesine ve atık su içeriğine bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. İnokulum olarak rumen sıvısının kullanıldığı 4 atık sudan 3'ünde, gaz oluşumu ve KOİ giderimi anaerobik çamura göre daha başarılı olmuştur. Ancak rumen sıvısının teminindeki zorluk ve yüksek miktarda gereksinim nedeniyle anaerobik çamur tercih edilmiştir.

Anaerobik arıtım ve metan üretiminden sorumlu organizmalar besinsel istekleri açısından oldukça müşkülpeşenttirler. N ve P gibi makrobeyinler yanında Fe²⁺, Ni²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Ba²⁺, S, Co gibi çok sayıda iz elementlere gereksinim duyarlar (Speece, 1983). Anaerobik arıtımın uygulandığı bazı atık su bileşiminde bu elementlere rastlanmayabilir. Bu durum atık suyun anaerobik arıtım verimini azaltır. Bu nedenle her atık su örneği bu mineralleri içeren bazal ortam ilavesi ile tekrarlanarak mineral gereksinimi incelenmiştir. BMP denemeleri ile peyniraltı suyu, şlempe ve kek üretim atık suyunun bazal ortam ilavesi gerektirdiği, mezbaha atık suyu, sirke üretim atık suyu ve kanalizasyon ağırlıklı süt işletmelerine ait atık suların ise bazal ortam gerektirmediği ortaya çıkmıştır.

Atık suların BMP denemeleri ile anaerobik arıtılabilirliği KOİ giderimi ve biyogaz üretimi esas alınarak değerlendirilmiştir. BMP denemeleri sonunda en yüksek arıtım verimi kek üretim atık suyu, şlempe ve peynir altı suyundan elde edilmiştir. Bu nedenle çalışmanın devamında adı geçen atık suların reaktörde sürekli anaerobik arıtımı incelenmiştir.

Kek üretim atık suyu BMP ve YAADY reaktör çalışması

Kek üretim atık suyunun BMP sonuçlarına göre BO ilaveli serum şişelerinde hem KOİ giderimi hem de gaz üretiminde daha yüksek bir verim görülmektedir. BO ilavelide 1062 ml CH₄ g⁻¹ KOİ (12,7 l CH₄ l⁻¹ atık su), BO' sızda 683 ml CH₄ g⁻¹ KOİ (8,2 l CH₄ l⁻¹ atık su) olarak bulunmuştur. Anaerobik arıtım ve metan üretiminde rol oynayan organizmalar fiziksel şartlar ve besinsel istekler açısından oldukça duyarlıdır (Madigan et al., 2006). BO ilaveli atık suda giderimin ve metan üretiminin daha yüksek olması kek üretim atık suyunun bu organizmaların isteğini karşılayacak oranda minerallere sahip olmaması nedeniyle olabilir. Bu nedenle yukarı akışlı anaerobik dolgulu yatak (YAADY) reaktörde yapılan arıtım çalışmaları BO ilave edilerek sürdürülmüştür.

Anaerobik arıtımın ekonomik ve verimli olabilmesi için başlıca organik yükleme oranı (OYO), hidrolik alıkonma süresi (HAS), giriş KOİ değeri gibi parametrelerin optimizasyonu gerekmektedir. Optimizasyon çalışmalarının başlatılmasında, BMP denemelerinde belirlenen en uygun KOİ esas alınmış ve parametreler değiştirilerek 150 gün boyunca KOİ giderimi ve gaz üretimi başta olmak üzere çizelge 3.4.'de belirtilen parametreler takip edilmiştir.

Bu süreç içerisinde; birinci reaktördeki HAS'nin 120'den 26 saate kadar azaltılmasına bağlı olarak organik yükleme günde 1,4-5,88 g KOİ l⁻¹'ye kadar artmış olup KOİ giderimi %63-93 arasında değişmiştir. Organik yükleme hızı günde 6,48 g KOİ l⁻¹ yükseltildiğinde KOİ giderimi %87'ye düşmüştür. Bu aşamada UYA miktarında ani bir artış gözlenmekte olup inhibisyon etkisi buradan kaynaklanabilir. Burada atık suyun reaktöre veriliş hızıyla orantılı olarak çıkış KOİ'sindeki ani artış (490 dan 900 mg l⁻¹), HAS' nin yüksek olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, giriş suyunun hızı, atık suyun etkili arıtımı için reaktörde yeterli süre kalmasını engellemektedir. İkinci anaerobik dolgulu yatak reaktörde ise KOİ giderimi % 46-84 arasında değişmiştir. İkinci reaktörde

KOİ giderim oranı düşük olmakla birlikte iki reaktörün toplamında %98-99 KOİ giderimi elde edilmiştir ve deşarj sınırlarının altında çıkış suyu çıkması oldukça önemlidir. Benzer bir çalışmada, Parawira et al. (2006) laboratuvar ölçekli yukarı akışlı çamur yatak reaktör ve anaerobik dolgulu yatak reaktörde patates püresinin 1,5-7,0 g KOİ l⁻¹ gün⁻¹ artan organik yükleme oranlarında arıtımını incelemişlerdir. Anaerobik dolgulu yatak reaktörde maksimum giderimin olduğu organik yükleme hızının yaklaşık 4,7 g KOİ l⁻¹gün⁻¹ olduğunu, yukarı akışlı çamur yatak reaktörde ise 6,1 g KOİ l⁻¹gün⁻¹ olarak bulmuşlardır .

Reaktörlerdeki çıkış AKM miktarı ve KOİ giderme oranları çizelge 4.19'da görülmektedir. Çamur yatak reaktörlerde, organik yükün artması sonucu artan gaz nedeniyle çıkış suyunda AKM artışı gözlenebilmektedir. Kullandığımız dolgulu yatak reaktörde ise dolgu materyaline bakterilerin tutunarak sağlam bir biyofilm oluşturması nedeniyle gaz çıkışı, çok az miktarda bakterilerin reaktörü terk etmesine sebep olmuş ve dolayısıyla AKM miktarında artış gözlenmemiştir. Yüksek orandaki AKM girişinin (4500-8300 mg l⁻¹) arıtım sonucunda oldukça düştüğü çizelge 4.19'da açıkça görülmektedir. Bu durum arıtım sırasında sadece çözülmüş organik maddelerin değil aynı zamanda askıda katı haldeki organik maddelerin de parçalandığını ifade etmektedir.

Çalışma boyunca sürekli izlenen pH, alkalinite ve uçucu yağ asit değişimi anaerobik arıtım sürecinin kararlılığı hakkında önemli bilgiler sağlar. pH değerleri incelendiğinde her iki reaktörde de uygulanan tüm HAS denemelerinde pH 7,2 ile 8,1 arasında değişmiştir (Şekil 4.5- 4.7). Bu kararlılık karbonat/bikarbonat tamponlanmasından kaynaklanmaktadır (Jimenez et al., 2003). 1000 mg l⁻¹ altındaki alkalinite değerlerinde tamponlama yetersizdir. Bu yüzden, düşük alkaliniteye sahip bu atık suya 2 g l⁻¹ NaHCO₃ ilave edilmiştir. Tamponlama işlemi, reaktörde metanojenik bakterilerin en iyi geliştiği pH aralığını korumaktadır. Yüksek pH değerleri ve tamponlama kapasitesi reaktörün asitlenmesine karşı bir garantidir.

UYA/alkalinite oranları süreç kararlılığının takibinde kullanılmaktadır. Bu oranın 0,3'ten daha düşük olması asitlenme riski olmaksızın işlemin güvenilirliğini sağlamaktadır (Jimenez et al., 2003). Toplam uçucu yağ asit derişimi asetik asit cinsinden R1' de 220-400 mg l⁻¹ arasında değişirken, R2'de 130-280 mg l⁻¹ aralığında değişmiştir (Şekil 4.5-4.7). UYA/ Alkalinite oranının R1 için 0,09-0,16 olduğu, R2 için 0,06-0,09 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.17 ve 4.18). Tüm optimizasyon çalışmaları boyunca

UYA/alkalinite değeri önerilen sınır değerin altında bulunmasına rağmen HAS'nin azaltılması (26 saat) ile birlikte UYA/alkalinite oranında (0,15) yükselmiş ve buna bağlı olarak KOİ giderimi ve gaz üretim verimi düşmüştür. Süreç kararlılığının korunmasında önemli bir faktör olan HAS'ın belirlenmesinde UYA/alkalinite oranındaki değişimden de yararlanılmıştır.

Her bir organik yükleme çalışmalarında birinci ve ikinci anaerobik dolgulu yatak reaktörde elde edilen metan üretim değerleri çizelge 4.17 ve 4.18' de görülmektedir. Birinci reaktörde metan verimi, organik yükleme günde 5,88 g KOİ l⁻¹ olduğunda 9,28 l CH₄ l⁻¹ atık su gün⁻¹ olacak şekilde artış göstermiştir. Organik yükleme günde 6,48 g KOİ l⁻¹'e yükseltildiğinde metan veriminde düşüş, UYA derişiminde artış gözlenmiştir. Metan üretimi sürecin izlenmesinde önemli bir parametredir. Sabit koşullarda biyofilm reaktörlerinde metan veriminin substrat ve işlem koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterdiği bazı araştırma sonuçlarının karşılaştırılması ile anlaşılmaktadır. Kalyuzhnyi et al. (1998) patates-mısır atık suyunun YAÇY reaktörde günde 6 g KOİ l⁻¹ organik yükleme oranında metan veriminin günde 0,3 l CH₄ g⁻¹ KOİ, Parawira et al. (2006) YAÇY reaktör ve YAADY reaktörde metan verimini günde 0,35 l CH₄ g⁻¹ KOİ olduğunu bildirmişlerdir. Kek üretim atık suyu ile yaptığımız bu çalışmada ise her iki reaktörde de metan verimi teorik değerin üzerinde bulunmuştur. Bu durumu en uygun çalışma koşulları altında reaktörlerde yaklaşık olarak kararlılık durumunun sağlanmasına bağlayabileceğimiz gibi, oluşan toplam gazın içerdiği metan miktarının belirlenmesinde kullandığımız yöntemin hassas olmamasından da ileri gelebilir.

Alkol distilasyon atık suyu (şlempe) BMP ve YAADY reaktör çalışması

Şeker endüstrisinde melas, şeker pancarı suyu ya da kamış suyu, lifli kek gibi yan ürünler oluşturur. Bunların arasında en önemlileri melastır. Melas yaklaşık %50 oranında sakkarit içerir. Bu yüzden değişik fermentasyonlarda karbon kaynağı olarak ve evsel hayvanların besinlerine katkı olarak kullanılmaktadır. Ancak, ham materyal olarak melas kullanılarak alkol ve aminoasit üretimi gibi fermentasyonlar sonucu, ürünün geri kazanımından sonra atık olarak çok miktarda, düşük pH'lı, yüksek KOİ değerli, koyu renkli sıvı kalır (Dahiya et al., 2001). Alkol distilasyon atık suyu (şlempe) olarak isimlendirilen bu sıvı deşarj edilmeden önce mutlaka arıtılmalıdır. Şlempe yüksek organik içeriğe sahip olması nedeniyle anaerobik arıtıma uygun bir atıktır. Şeker fabrikasından

sağlanan şlempe ile farklı başlangıç KOİ değerlerinde BMP denemeleri yapılmıştır. BMP sonuçlarına göre denenen KOİ değerleri arasında 27000 mg l⁻¹ başlangıç KOİ değerinde BO ilavesiyle en yüksek KOİ giderimi (%86) ve metan verimi (222 ml CH₄ g⁻¹ KOİ) elde edilmiştir. Koby ve Demircioğlu (1993) yaptıkları çalışmada, şlempenin kesikli olarak çalışan anaerobik reaktörde %45-73 arasında arıtılabileceğini ve KOİ miktarına bağlı olarak 1 litre şlempeden 16 gün reaktörde kalış süresi sonucu 4,920-11 litre arasında biyogaz elde edilebileceğini bulmuşlardır.

Şlempe yüksek KOİ'ye sahip bir atık olmakla birlikte, çeşitli metalleri de içermektedir. Arıtımın ekonomisi açısından süreç sırasında kimyasal eklenmesi istenmez. BMP denemelerinde BO ilavesinin KOİ giderimi ve metan gazı üretimini artırması reaktörde arıtım sırasında bazı minerallerin ilavesini zorunlu kılmaktadır. Ancak yaptığımız analizler sonucunda BO bileşiminde bulunan Fe, Ni, Mn, Al, Cu, Zn, Ca, Mg minerallerin şlempe bileşiminde de yeterli oranda bulunduğu belirlenmiştir. Bu nedenle adı geçen mineraller arıtım sürecinde ilave edilmezken, diğer BO bileşenleri (NH₄Cl, Na₂S.9H₂O, KCl, (NH₄)₂.HPO₄, H₃BO₃, NaMoO₄.2H₂O, NaWO₄.2H₂O, sistein) ilave edilmiştir. Arıtılan atığın KOİ/N/P bakımından dengeli olması çok önemlidir (Öztürk, 1999). Biyokütle oluşumunun hızlı olduğu işletmeye alma dönemlerinde KOİ/N/P oranı 300/5/1-500/5/1 aralığında tutulması gerektiği için bu oranı sağlamak amacıyla atık suya bazal ortamda bulunan N ve P kaynakları ilave edilmiştir. Atık suyun alkalitesi istenilen değerler arasında olduğundan NaHCO₃ ilave edilmemiştir. Şlempenin anaerobik arıtımının endüstriyel çapta uygulanması halinde, atık suya ilave edilen metal çeşidi ve miktarının sınırlandırılmasının ekonomi sağlanması açısından bir üstünlük oluşturacağı açıktır.

BMP sonuçlarına göre arıtım veriminin en yüksek olduğu KOİ değeri 27000mg l⁻¹ olup, YAADY reaktörde önemli parametreler açısından arıtımı yapılmıştır. Çizelge 4.20.'de görüldüğü gibi reaktör 1'de bu giriş KOİ'nde HAS'nin azaltılmasıyla bağlantılı olarak 85.güne kadar KOİ giderimi ve gaz üretimi artmıştır. Ancak HAS'ın daha da düşürülmesi arıtım verimini olumsuz yönde etkilemiştir. Optimum HAS'ın 175 saat olduğunun anlaşılması ile artırılan giriş KOİ'si 185. günde 35000 mg l⁻¹ olup en yüksek arıtım verimine ulaşılmıştır. KOİ'nin 35000 mg l⁻¹'nin üzerine çıkması durumunda şlempe bileşimindeki bazı maddelerin arıtımda rol oynayan mikroorganizmalar üzerine

inhibitör etki gösterebilecek düzeye ulaştığını ortaya çıkarmaktadır. Metan oluşumunda iş gören organizmaların çevresel şartlara hassasiyeti metal derişimleri için de geçerlidir. Metaller organizma türüne göre değışse de belirli bir derişim üzerinde toksik etki yapmaktadır. Ayrıca şlempede bulunan fenolik bileşikler metan üreten bakteriler üzerine toksik etki göstermektedir. Daha yüksek KOİ değerine sahip şlempe, daha yüksek oranda metal ve fenolik bileşikler içereceğinden dolayı, iş gören mikroorganizma topluluğunun olumsuz yönde etkilenmesi olasıdır (Jimenez and Borja,1997; Garcia et al.,1997). Şlempenin yapısında Maillard amino-karbonil reaksiyonundan şekillenen melanoidler mevcuttur. Melanoidler yüksek moleküler ağırlıklı, şlempeye koyu renk kazandıran rekalsitrant organik bileşiklerdir. Bu bileşiklerin toksisitesi antioksidant özelliğinden gelmektedir.

Ayrıca şlempe yüksek konsantrasyonlarda sülfat içermektedir. Anaerobik ortamda sülfat, sülfat gideren bakteriler tarafından bir elektron alıcısı olarak kullanılır. Elementel kükürt ve organik kükürt bileşikleri de oluşmakla birlikte, reaksiyon sonucu ana ürün olarak H_2S açığa çıkar. Metan bakterilerinin başlıca enerji kaynakları asetik asit ve hidrojenidir. Sülfat gideren bakteriler de aynı enerji kaynağını kullanır ve bu yüzden metan bakterileri ile rekabete girerler. Sülfat gideren bakteriler enerjetik olarak metan bakterilerine göre daha avantajlı olduklarından, metan üretimine doğru olan elektron akışının sülfat giderimine çevirerek reaktördeki metan üretiminin düşmesine yol açarlar. Sülfat gideren bakteriler pH ve sıcaklık değışikliklerine daha az hassastırlar. Diğer bir önemli etkileri de ortaya çıkan H_2S 'in yüksek konsantrasyonlarda havasız arıtmayı inhibe etmesidir. Khan ve Trottier (1978) kükürt bileşiklerinin zehirli etkilerinin Sülfat>Tiyosülfat>Sülfür sırasına göre arttırdığını tespit etmişlerdir (Öztürk, 1999). Lettinga (1986), 5000 mg l^{-1} den daha az SO_4^{2-} konsantrasyonlarının asetat kullanan metan bakterilerini önemli ölçüde inhibe etmediğini belirtmektedir (Öztürk, 1999). Mc Carty (1964) (H_2S , HS^- ve S^{2-}) formundaki toplam çözünmüş sülfür konsantrasyonunu $50-100 \text{ mg l}^{-1}$ olması halinde anaerobik reaktörlerde önemli bir inhibisyona yol açmadığını ve reaktörün 200 mg l^{-1} ye kadar ki konsantrasyonlara alıştırılabildiğini belirtmektedir (Öztürk, 1999). Çalışmamızda anaerobik süreç boyunca R1 giriş ve çıkışı, R2 çıkışında yapılan sülfat ölçümleri sırasıyla $3400-2400-540 \text{ mg l}^{-1}$ bulunmuştur. Gittikçe azalan sülfat oranı sülfat indirgeyen bakterilerin de sistemde aktif olduğunu ancak metanojenlerin

faaliyet göstermesini engelleyecek düzeyde çözülmüş sülfür bileşikleri oluşturmadığını göstermektedir.

Arıtım sürecinin 145. günündeki koşullarda reaktör 2'den çıkan atık suyun çıkış KOİ değeri 780 mg l^{-1} ulaşılan en düşük KOİ değeri olup iki reaktörün toplamında %97'lik KOİ giderim oranına karşılık gelmektedir. Türkiye Çevre Mevzuatına (1999) göre melastan alkol üretimi atık suyunun deşarj standartlarına göre KOİ değerinin 150 mg l^{-1} olması gerekmektedir. Çalışmamız sonucunda ise elde ettiğimiz KOİ değeri, sınır değer üzerinde olması anaerobik arıtım sonrası aerobik arıtımın uygulanması gerekliliği ortaya çıkar. Bu işlem, küf ve aktif çamur ile ayrı ayrı aerobik arıtım uygulanmasıyla denenmiştir.

Çizelge 4.23, 4.24 ve 4.25' te görüldüğü gibi küfler ile yapılan aerobik arıtımda en iyi renk giderimi % 58 ile 4. günde *P. decumbens* ile sağlanmıştır. Bunu %45 ile 5. günde *A. niger* ve % 38 ile 4. günde *P. crustocum* takip etmiştir. Bu küfler ile yapılan aerobik arıtım renk gideriminde etkili olmuştur. Renk veren maddeler daha çok rekalsitran özellikte olmaları nedeniyle biyolojik olarak parçalanmaya dayanıklıdırlar. Bu nedenle renk gideriminin biyodegradasyondan ziyade adsorpsiyon ile gerçekleştiği söylenebilir. Şekil 4.12'de açıkça görüldüğü gibi renk gideriminin % 60'dan fazlası arıtım sürecinin birinci gününde giderilmiştir. Bu da renk gideriminin de adsorpsiyonun başlıca mekanizma olduğunu destekler. Jimenez et al. (2003) yaptıkları çalışmada şeker pancarı alkol damıtma atık suyunun renk gideriminin 4 farklı küf arasından en iyi oranda (4.günde %41) *P. decumbens* ile olduğunu bildirmişlerdir. Garcia et al. (1997) şeker kamışı şlempesinde *A. terreus* ve *G. candidum* ile sırasıyla %66 ve %77 oranında fenol giderimi olduğunu göstermişlerdir ve her ikisi de renk gideriminin adsorpsiyon ya da degradasyon ile oluştuğunu bildirmişlerdir.

Uygulanan küflerden *P. decumbens* KOİ gideriminde %83'lük oranla öndedir. 4. günün sonunda elde edilen KOİ değeri 130 mg l^{-1} dir ve bu değer çevre mevzuatına göre deşarj iznine uygun bir değerdir. Jimenez et al. (2003) anaerobik arıtım öncesi yaptıkları aerobik arıtım denemelerinde en yüksek KOİ gideriminin *Penicillium* sp. (%52,1) ve *P. decumbens* (%50,7) ile bulmuşlardır. Deşarj standartlarına göre atık suların içerdiği metal oranları da belirlenen sınır değer altında olmalıdır. Anaerobik arıtım sırasında belli bir miktar metal giderimi gerçekleşmiş olsa da (Çizelge 4.22) bazı metallerin deşarj

standartlarına uymadığı görülmüştür. En yüksek KOİ ve renk giderimiyle sonuçlanan *P. decumbens* ile aerobik arıtım süreci metal giderimi açısından da izlenmiş ve bu fungusun metal gideriminde de etkili olduğu görülmüştür(Çizelge 4.23). Son zamanlarda funguslarla metal biyosorpsiyonu yaygın bir şekilde araştırılan bir konudur. Hücre çeper yapılarının özelliğinden dolayı fungusların oldukça iyi metal adsorplama yetenekleri olduğu bilinmektedir.

Aktif çamur ile yapılan aerobik arıtım sonucuna göre 5. günde KOİ değeri 300 mg l⁻¹'e düşmüştür. Bu değer %61 oranında KOİ giderime karşılık gelmektedir. Ayrıca %27 oranında renk giderimi olduğu anlaşılmıştır. (bkz.Çizelge 4.26). Çoğu atık su çeşidinin aerobik arıtımında aktif çamur başarılı bir şekilde uygulanmasına rağmen, anaerobik arıtım sonrası atık suya uygulanan küflere kıyasla KOİ ve renk gideriminin daha düşük olduğu görülmüştür.

Peyniraltı suyu BMP ve YAADY reaktör çalışması

Süt endüstrisi ülkemizin en yaygın endüstri dallarından biridir. Bu endüstri dalında karbonhidratlar, proteinler ve yağların varlığından dolayı organik yük açısından oldukça kuvvetli atık sular oluşmaktadır ve bunlar normal evsel atık suların biyolojik arıtılması amacıyla yapılmış atık su arıtma tesislerine verildikleri takdirde kısa zamanda tesis şok etkisi nedeniyle işlemez hale gelmektedir (Ünlü ve ark., 2004; Demirel et al., 2005). Bu nedenle, bu atık sular arıtılmadan önce peynir ve tereyağı altı sularından hayvan yemi, çocuk maması, kazein, maya üretimi vb. yapılarak atık suyun organik madde yüzdesinin olabildiğince düşürülmesi gerekmektedir. Ülkemizde, bu endüstride geri kazanım aşamasının yaygın olmamasından dolayı bu atık sular çevre için oldukça büyük problem oluşturmaktadır. Bu nedenle, oluşan atık suların alıcı ortama verilmeden mutlaka arıtılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Süt endüstrisi atık suları fizikokimyasal ve biyolojik arıtım yöntemleri ile arıtılabilmektedir. Ancak fizikokimyasal arıtım süreçlerinde kullanılan kimyasalların pahalı olması ve KOİ gideriminin az olması sebebiyle genellikle biyolojik süreçler tercih edilmektedir. Biyolojik arıtım süreçleri arasında; havuzlarda arıtım, aktif çamur sistemleri ve anaerobik arıtım oldukça yaygındır. Aerobik arıtımda yüksek enerji gereksinimi bu proseslerin kullanımında bir engel olarak görülmektedir. Süt endüstrisi atık sularının KOİ değerleri oldukça önemlidir; dahası bu atık suların sıcak ve kuvvetli olması onların arıtımında anaerobik arıtım kullanılabilirliğini

göstermektedir. Süt ürünleri üretimi yapan fabrikadan alınan peynir altı suyunda farklı başlangıç KOİ değerlerinde BMP denemeleri yapılmıştır. Denenen KOİ değerlerinden 30000 mg l⁻¹ başlangıç KOİ değerinde, BO ilavelisiyle en yüksek KOİ giderimi (%92) ve gaz üretimi (366 ml CH₄ g⁻¹ KOİ) elde edilmiştir.

Süt endüstrisi üretiminde süt, tereyağı, yoğurt, dondurma, değişik tatlılar ve peynir gibi farklı ürünler üretilir ve bunların üretimi sırasında oluşan atıkların özellikleri oldukça değişkendir. Asit ve alkali temizleyicilerin kullanımı sebebiyle pH oldukça değişkendir. Çalışmalarda kullandığımız peynir altı suyunun asidik karakterde olmasını buna bağlayabiliriz. Gerçekten, büyük ölçekli işletmelerden kaynaklanan süt endüstrisi atık sularının genel özellikleri hakkında bilgiler literatürde oldukça azdır. Yüksek KOİ değeri süt endüstrisi atık sularının kuvvetli olduğunu gösterir. Endüstriyel süt atıklarında başlıca süt proteinlerinden kaynaklanan azot ve bunların değişik formları; ya organik azot (protein, üre, nükleik asit) ya da NH₄⁺, NO₂⁻ ve NO₃⁻ gibi iyonlar bulunur. Fosfor başlıca ortofosfat (PO₄³⁻) ve polifosfat (P₂O₇⁴⁻) şeklinde inorganik formda ve organik formda bulunur. Askıda katıların ve uçucu askıda katıların derişimi atık suyun kuvvetliliği ve arıtılabilirliği hakkında bilgiler verir. Askıda katılar, pıhtılaşmış süt, peynir yapımı sırasında ortaya çıkan maddelerden kaynaklanır. Ayrıca bu atık sularda Na, K, Ca, Mg, Fe, Co, Ni ve Mn gibi elementler de bulunabilir. Cu, Ni, Zn gibi ağır metallerin derişimleri biyolojik arıtım basamaklarının işleyişini etkileyecek düzeyde değildir (Demirel et al., 2005). BO ilaveli BMP denemelerinde daha yüksek oranda metan gazı elde edilmesine rağmen, peynir altı suyunun bileşiminde yukarıda bahsedilen maddelerin varlığı nedeniyle bazı elementlere gereksinim olmayacağı düşünülmüştür. Yaptığımız analizler sonucunda BO bileşiminde bulunan bulunan Fe, Ni, Mn, Al, Cu, Zn, Ca, Mg, K gibi minerallerin peynir altı suyunun bileşiminde yeterli oranda bulunduğu belirlenmiştir(Çizelge 4.27). Bu nedenle adı geçen mineraller arıtım sürecinde ilave edilmezken, diğer BO bileşenleri (NH₄Cl, Na₂S.9H₂O, (NH₄)₂.HPO₄, H₃BO₃ , NaMoO₄.2H₂O, NaWO₄.2H₂O, sistein) ilave edilmiştir.

Süt endüstrisi atık suları kolay parçalanabilir laktoz gibi karbonhidratları içerdiği gibi daha az parçalanabilir özellikte olan protein ve lipidleri de içermektedir. Peynir üretim atık suyunda toplam KOİ'nin %97,7'si laktoz, laktat, protein ve yağlardır. Laktoz süt endüstrisi atık sularında başlıca karbonhidrattır ve anaerobik bakteriler için hazır bir

substrattır. Laktozun anaerobik parçalanması asidojenler, asetojenler ve metanojenlerden oluşan işbirliği içindeki biyolojik aktiviteyle gerçekleşir. Laktozun anaerobik fermentasyonunda asetat, propiyonat, iso ve normal butirat, iso ve normal valerat, kopraat, laktat, format ve etanol gibi organik asitler oluşur. Laktozun asidojenik fermentasyonu için piruvattan butirata ve piruvattan laktata olacak şekilde iki farklı karbon akışı önerilmektedir (Demirel et al., 2005). Süt bileşiminde ve süt endüstrisi atık sularında temel proteinlerden biri kazeindir. Alıştırılmış anaerobik reaktörlerle arıtım uygulandığında kazeinin parçalanması oldukça hızlıdır ve parçalanma ürünlerinin inhibitör etkisi yoktur.

YAADY reaktör çalışmalarında ilk olarak HAS süresi 120 saat (5 gün) olarak sabit tutulmuş ve OYO çalışma süresince günde 2-9 g KOİ l⁻¹ değiştirilmiştir. Reaktör 1' de OYO günde 8 g KOİ l⁻¹ değerine ulaştığında %94 oranında KOİ giderimi gözlenmiştir. OYO günde 10 g KOİ l⁻¹ yükseltildiğinde KOİ giderim %91'e düşmüştür. 123 gün süren bu denemelere göre, 5 günlük hidrolik alıkonma süresinde uygulanabilecek OYO günde 9 g KOİ l⁻¹ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. İkinci anaerobik dolgulu yatak reaktörde ise KOİ giderimi % 83-86 arasında değişmiştir. Denemenin ikinci aşamasında OYO oranı sabit tutulmuş ve HAS azaltılmıştır. 85 saatlik HAS'e kadar KOİ gideriminde(%91-89,5) ve metan veriminde(14,4-13,8 l CH₄ l⁻¹ gün⁻¹) çok büyük bir değişiklik gözlenmemiştir. 72 saatlik HAS'de ise KOİ giderimi (%85) ve metan veriminde (13,1 l CH₄ l⁻¹ gün⁻¹) düşüş meydana gelmiştir. Omil ve ark. (2003), endüstriyel ölçekli anaerobik filtre ile süt endüstrisi atık suyunun arıtılabilirliğinde 5-6 kg KOİ/m³ gün OYO'da %90'ın üzerinde KOİ giderimi elde etmişlerdir. Ayrıca atığın yağ içeriğinin de başarılı bir şekilde parçalandığı bulunmuştur. Koster'e, (1987) göre, inhibitör bileşiklerden olan lipidler, süt endüstrisi atık sularının anaerobik arıtımı sırasında daima karşılaşılan maddelerdendir (Demirel et al., 2005). Lipidlerin anaerobik parçalanabilirliği hakkında literatürde çok az bilgi vardır. Anaerobik parçalanma sırasında lipid önce gliserol ve uzun zincirli yağ asitlerine hidrolize olur. Bunu takiben β oksidasyonla asetat ve hidrojen üretilir. Lipid hidrolizi sonucu oluşan gliserol, inhibitör bir bileşik değilken, uzun zincirli yağ asitlerinin metanojenik bakteriler için inhibitör etkisi olduğu bildirilmiştir Uzun zincirli yağ asitleri metan üretimini geciktirmektedir. Doymamış uzun zincirli yağ asitleri doymuş uzun zincirli yağ asitlerinden daha fazla inhibitör etki göstermektedir. Doymamış uzun zincirli

yağ asitleri asetatdan metan üretimini güçlü bir şekilde ve β oksidasyonu ise kısmi bir şekilde engellemektedir (Demirel et al., 2005). Çalışmamızda OYO'daki artışla beraber atık suyun içindeki protein ve karbonhidrat yanında inhibitör bileşiklerden olan yağların oranı da arttığı için $10 \text{ g KOİ l}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ OYO'nda KOİ giderimindeki düşüşü, giriş atık suyunda yağ oranının artması sebebiyle mikroorganizmalar üzerinde olumsuz etkiler yapmasına bağlayabiliriz (Bkz. Çizelge 4.28). OYO'nun düşürülmesi ile reaktörün tekrar eski performansına dönmesi bu düşüncemizi doğrular niteliktedir.

Kalyuzhnyi ve ark.(1997) yüksek organik madde içerikli peynir altı suyunun (77 g KOİ l^{-1} üzerinde) laboratuvar ölçekli YAÇY reaktörde mezofilik (35°C) ve submezofilik ($20\text{-}30^{\circ}\text{C}$) koşullarda arıtım etkinliğini ve maksimum organik yükleme hızını araştırmışlardır. Mezofilik koşullarda OYO $28,5 \text{ g KOİ l}^{-1} \text{ gün}^{-1}$, submezofilik koşullarda ise $9,5 \text{ g KOİ l}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuş ve KOİ giderim etkinliğinin ise her iki sıcaklıkta da %90'ın üzerinde olduğu bildirilmiştir.

Laboratuvar ölçekli plastik destek içeren anaerobik filtre reaktörler ile 4 günlük HAS'nde %78 ile 92 arasında KOİ giderimi elde edilmiştir (Viraraghavan and Kikkeri, 1990). Dondurma atığının termofilik anaerobik arıtımında anaerobik filtre reaktörlerinde porlu ve porsuz destek materyalinin etkisi incelenmiştir (Ugurlu and Forster, 1991). Porlu destek materyalli anaerobik filtreler ile yüksek organik hızlarda daha yüksek giderim elde edilmiştir. Anderson et al. (1994), süt şişeleme fabrikasından oluşan atık suların yukarı akışlı anaerobik filtre ile porlu ve porsuz destek materyali ile arıtım performansını incelemişlerdir. Porsuz destek materyalli reaktörde organik yükleme hızı $4 \text{ kg KOİ/m}^3 \text{ gün}$ üzerinde kararlılık gözlenirken, porlu destek materyalli reaktörde $21 \text{ kg KOİ/m}^3 \text{ gün}$ üzerindeki OYO'nda hala kararlı olduğu bulunmuştur.

Başka bir çalışmada yukarı akışlı anaerobik filtre reaktörde çok seyreltik süt endüstrisi atık suyunun $0,117$ ve $1,303$ uçucu katı $\text{l}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ arasında OYO'da ve $18,8$ ile 2 günlük HAS'de arıtımı incelenmiştir (Chen and Shyu, 1996). 5, 4 ve 3 günlük HAS'de çıkış sularında askıda katı ve KOİ derişimi deşarj limitlerine uygun olduğu bulunmuştur.

Punal et al., (1999), laboratuvar ölçekli kesikli beslemeli ve sürekli beslemeli yukarı akışlı anaerobik filtreler ile $20 \text{ kg KOİ /m}^3 \text{ gün}$ üzerindeki OYO'nda peynir altı suyunun arıtımını incelemişlerdir. Biyokütle konsantrasyonunun ve aktivitesinin beslemede etkili

olduğunu, farklı trofik grupların spesifik aktivitelerinde sürekli beslemenin daha etkili olduğu bulunmuştur.

Anaerobik arıtım sürecinin kararlılığı hakkında önemli bilgiler sağlayan pH, alkalinite ve uçucu yağ asitleri parametreleri de çalışma boyunca sürekli izlenmiştir. pH değerleri incelendiğinde her iki reaktörde de uygulanan tüm HAS çalışmalarında pH 7,05 ile 7,8 değerleri arasında değişmiştir (Şekil 4.17- 4.19). Toplam uçucu yağ asitleri derişimi asetik asit cinsinden R1’de 228-600 mg l⁻¹ arasında değişirken R2’de 90-250 mg l⁻¹ aralığında değişmiştir (Şekil 4.17-4.19). UYA/ alkalinite oranının R1 için 0,07-0,15 olduğu, R2 için 0,02-0,06 arasında değiştiği görülmektedir (Bkz. Çizelge 4.28 ve 4.29). Bu sonuçlara göre tüm HAS çalışmalarında UYA/alkalinite değerleri sınır değerden daha düşük bulunmuştur.

Arıtım sürecinin123. günündeki koşullarda reaktör 2’den çıkan atık suyun çıkış KOİ değeri 460 mg l⁻¹ ulaşılan en düşük KOİ değeri olup iki reaktörün toplamında %99’luk KOİ giderim oranına karşılık gelmektedir. Türkiye Çevre Mevzuatına (1999) göre süt endüstrisine atık suyunun deşarj standartlarına göre KOİ değerinin 170 mg l⁻¹ olması gerekmektedir. Çalışmamız sonucunda ise elde ettiğimiz KOİ değeri, sınır değer üzerinde olması anaerobik arıtım sonrası aerobik arıtımın uygulanması gerekliliği ortaya çıkar. Bu işlem aktif çamur ile aerobik arıtım uygulanmasıyla. denenmiştir. Aktif çamur ile yapılan aerobik arıtım sonucuna göre 5. günde KOİ değeri 110 mg l⁻¹, yağ-gres değeri ise 50 mg l⁻¹’e düşmüştür. Bu değerler KOİ bazında %76’lık yağ-gres açısından %85’lik giderime karşılık gelmektedir. Anaerobik/aerobik arıtım sonucunda %99,8 KOİ giderimi, %99,2’lik yağ-gres giderimi bulunmuştur. Malaspina ve ark.(1995), peynir altı suyunun aşağı akışlı-yukarı akışlı hibrit anaerobik reaktörde 10 g KOİ l⁻¹ gün⁻¹ OYO’da KOİ bazında %98 oranında arıtılabileceğini, bunu takiben aerobik arıtım ile %90’lık KOİ giderimi sağlanabileceğini bildirmişlerdir.

6. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anderson, G.K., Kasapgil, B. and Ince O., 1994, Comparison of porous and nonporous media in upflow anaerobic filters when treating dairy wastewaters, *Water Research*, 28, 1619-1624.
- Angenent, L.T., Karim, K., Al-Dahhan, M.H., Wrenn, B.A. and Domiguez-Espinosa R., 2004, Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater, *TRENDS in Biotechnology*, 22 (9), 477-485.
- APHA-AWWA-WPCF., 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th Ed., Washington DC., American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, 10-137p.
- Baltacı, F., 2000, Su Analiz Metotları, İçme suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, 333 s.
- Baumann, U. and Müller, M.T., 1997, Determination of anaerobic biodegradability with a simple continuous fixed-bed reactor, *Water Research*, 31(6), 1513-1517.
- Benito, G.G., Miranda, M.P. and De Los Santos, D.R., 1997, Decolorization of wastewater from an alcoholic fermentation process with *Trametes versicolor*, *Bioresource Technology*, 61, 33-37.
- Bone, D.R. and Xun, L., 1987, Effect of pH, temperature and nutrients on propionate degradation by methanogenic enrichment culture, *Applied and Environmental Microbiology*, 53(7), 1589-1592.
- Chen, TH. and Shyu, WH., 1996, Performance of four types of anaerobic reactors in treating very dilute dairy wastewater, *Biomass Bioenergy*, 11, 431-440.
- Dahiya, J., Singh, D. and Nigam, P., 2001, Decolorization of molasses wastewater by cells of *Pseudomonas fluorescens* immobilised on porous cellulose carrier, *Bioresource Technology*, 78, 111-114.
- Demirel, B., Yenigün, O. and Onay T.T., 2005, Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review, *Process Biochemistry*, 40 (8), 2583-2595.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demirer, G.N. and Speece, R.E., 1998, Anaerobic biotransformation of four 3-carbon compounds (Acrolein, Acrylic acid, Allyl Alcohol and N-Propanol in UASB reactors), *Water Research* , 32 (3), 747-759.
- Demirer, G.N., Duran, M., Ergüder, T.H., Güven, E., Uğurlu, Ö. and Tezel U., 2000, Anaerobic treatability and biogas production potential studies of different agro-industrial wastewater in Turkey, *Biodegradation*, 11, 401-405.
- Deveci, N. and Çiftçi, G., 2001, A mathematical model for the anaerobic treatment of Baker's yeast effluents, *Waste Management*, 21, 99-103.
- Elmitwalli, T.A., Soellner, J., Keizer, A.D., Bruning, H. and Lettinga, G., 2001, Biodegradability and change of physical characteristics of particles during anaerobic digestion of domestic sewage, *Water Research*, 35(5), 1311-1317.
- Eltem, R., 2001, Atık Sular ve Arıtım, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları No:172, 188s.
- Ergüder, T.H., Güven, E. and Demirer, G.N., 2000, Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactors, *Process Biochemistry* , 36 (3), 343-248.
- Ergüder, T.H., Tezel, U., Güven, E. and Demirer G.N., 2001, Anaerobic biotransformation and methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactors, *Waste Management*, 21 (7), 643-650.
- Ergüder, T. H., Güven, E. and Demirer, G.N., 2003, The inhibitory effects and removal of dieldrin in continuous upflow anaerobic sludge blanket reactors, *Bioresource Technology*, 89 (2), 191-197.
- Fang, H.H.P. and Wai-Chung Chung, D., 1999, Anaerobic treatment of proteinaceous wastewater under mesophilic and thermophilic conditions, *Water Science Technology*, 40 (1), 77-84.
- Frankin, R.J., 2001, Full scale experiences with anaerobic treatment of industrial wastewater, *Water Science Technology*, 44 (8), 1-6.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Garcia, I.G., Venceslada, L.B., Pena, P.R.J. and Gomez, E.R., 1997, Biodegradation of phenol compounds in vinasse using *Aspergillus terreus* and *Geotrichum candidum*, *Water Research*, 31(8), 2005-2011.
- Gönenç, İ.E., Timur, A. ve Çiler, M., 1985, Havasız biyolojik yöntemlerle kuvvetli atık suların arıtım esasları ve tasarımı, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Çevre Araştırma Grubu, Proje No: ÇAG 88, 137s.
- Gülen, J. and Arslan H., 2005, Biogas, *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4, 121-129.
- Jenicek, P., Dohanyos, M. and Zabranska, J., 1999, Combined anaerobic treatment of wastewaters and sludges, *Water Science Technology*, 40 (1), 85-91.
- Jimenez, A.M., Borja, R. and Martin, A., 2003, Aerobic-anaerobic biodegradation of beet molasses alcoholic fermentation wastewater, *Process Biochemistry*, 38 (9), 1275-1284.
- Jimenez, A.M. and Borja, R., 1997, Influence of aerobic pretreatment with *Penicillium decumbens* on the anaerobic digestion of beet molasses alcoholic fermentation wastewater in suspended and immobilized cell bioreactors, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 69, 193-202.
- Johnson, E.A. 1999, Anaerobic Fermentations, *Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 830s.
- Kalyuzhnyi, S.V., Martinez, E.P. and Marinez, J.R., 1997, Anaerobic treatment of high-strength cheese-whey wastewaters in laboratory and pilot UASB-reactors, *Bioresource Technology*, 60, 59-65.
- Kalyuzhnyi, S., Estrada de los Santos, L. and Martinez, JR. 1998, Anaerobic treatment of raw and preclarified potato-maize wastewaters in a UASB reactor, *Bioresource Technology*, 66 (3), 195-199.
- Kiely, G., Tayfur, G., Dolan, C. and Tanji, K., 1997, Physical and mathematical modelling of anaerobic digestion of organic wastes, *Water Research*, 31(3), 534-540.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kobyas, M. ve Demircioğlu, N., 1993, Şlempenin anaerobik arıtımı ve biyogaz üretimi, İ.T.Ü. 51(2), 36-40.
- Lettinga, G., Field, J., Lier, J., Zeeman, G. and Hulshoff Pol, L.W., 1997, Advanced anaerobic wastewater treatment in the near future, Water Science Technology, 35 (10), 5-12.
- Madigan, M.T., Martinko. J.M., and Parker J., 2006, Brock Biology of Microorganisms, Eleventh Edition, Prentice Hall, 1019p.
- Malaspina, F., Stante, L., Cellamare, C.M. and Tilche, A., 1995, Cheese whey and cheese factory wastewater treatment with a biological anaerobic-aerobic process, Water Science and Technology, 32, 59-72.
- Martinez ,J.M., Garza, I.R., Flores, E.P., Balagurusamy, N., Santillan, G.S. and Garcia, Y.G., 2002, Kinetics of anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in batch and upflow anaerobic sludge blanket reactor, Bioresource Technology, 85, 235-241.
- Minke, R. and Rott, U., 1999, Anaerobic treatment of split flow wastewater and concentrates from the textile processing industry, Water Science Technology, 40(1), 169-176.
- Omil, F., Garrido, J.M., Arrojo, B. and Mendez, R., 2003, Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale, Water Research, 37, 4099-4108.
- Owen, W.F., Stuckey, D.C., Healy, J.B., Young, L.Y. and McCarty, P.L., 1979, Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity, Water Research, 13, 485-492.
- Özdemir, G. ve Eltem, R., 2001, Su ve atık suların mikrobiyolojik incelenmesi ve arıtım uygulamaları, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi No:167, 214s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Öztürk, İ., Ubay, G. ve Ubay, E., 1991, Evsel atık suların anaerobik arıtılabilirliği ve proses kinetiğinin araştırılması, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Deniz Bilimleri ve Çevre Araştırmaları Grubu, Proje No: DEBÇAG-52, 44s.
- Öztürk, İ., Ubay, G. ve Ubay, E., 1994, Evsel nitelikli atık suların anaerobik olarak arıtılabilirliği ve proses kinetiğinin araştırılması, Tr.J. of Engineering and Environmental Sciences, 18, 175-183.
- Öztürk, İ., 1999, Anaerobik biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 319s
- Parawira, W., Mutto, M., Zvauya, R. and Mattasson, B., 2006, Comparative performance of a UASB reactor and an anaerobic packed-bed reactor when treating potato waste leachate, Renew. Energ., 31(6), 893-903.
- Pekin, B., İkizoğlu, E., Alku, Y. ve Akgün N., 1984, Yüksek organik madde içerikli endüstriyel atık suların biyolojik arıtılması, biyogaz ve gübre üretimi için optimum sistem tasarımının araştırılması, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Çevre Araştırma Grubu, Proje No: ÇAG 32, 35s.
- Punal, A., Mendez-Pampin, R.J. and Lema, J.M., 1999, Characterization and comparison of biomasses from single and multi fed upflow anaerobic filters, Bioresource Technology, 68, 293-300.
- Del Pozo, R. and Diez, V., 2003, Organic matter removal in combined anaerobic-aerobic fixed-film bioreactors, Water Research, 37 (15), 3561-3568.
- Seok, J., Komisar, S.J. and Asce, M., 2003a, Integrated modeling of anaerobic fluidized bed bioreactor for deicing waste treatment, I. Model Derivation, Journal of Environmental Engineering, 129 (2), 100-109.
- Seok, J., Komisar, S.J. and Asce, M., 2003b, Integrated modeling of anaerobic fluidized bed bioreactor for deicing waste treatment, II. Simulation and experimental studies, Journal of Environmental Engineering, 129 (2), 110-122.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shelton, D.R. and Tiedge, J.M., 1984, General method for determining anaerobic biodegradation potential, *Applied and Environmental Microbiology*, 47 (4), 850-857.
- Speece, R.E., 1983, Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment, *Environmental Science and Technology*, 17 (9), 416-427.
- Soto, M., Méndez, R. and Lema, J.M., 1993, Methanogenic and non-methanogenic activity tests, Theoretical basis and experimental set up, *Water Research*, 27 (8), 1361-1376.
- Şen, S. and Demirer, G.N., 2003, Anaerobic treatment of real textile wastewater with a fluidized bed reactor, *Water Research*, 37, 1868-1878.
- Tezel, U., Güven, E., Ergüder T.H. and Demirer G.N., 2001, Sequential (anaerobic/aerobic) biological treatment of Dalaman SEKA Pulp and Paper Industry effluent, *Waste Management*, 21, 717-724.
- Türker, M., 2003, Anaerobik biyoteknoloji: Türkiye ve Dünyadaki Eğilimler, 2.Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 228-236.
- Türk Çevre Mevzuatı, 1999, Türkiye Çevre Vakfı Yayını, Ankara, 1204s.
- Ubay, G. and Öztürk I., 1997, Anaerobic treatment of olive mill effluents, *Water Science Technology*, 36 (2-3), 287-294.
- Ugurlu, A. and Forster, C.F., 1991, Thermophilic anaerobic treatment of ice cream wastes: a comparison of porous and non-porous media, *Trans. Inst. Chem. Eng.*, 69, 37-42.
- Ulrix, R.P., 1994, Anaerobic/aerobic combination treats high-strength wastewater, *Water Engineering Management*, 141 (2), 22-24.
- Uzal, N., Gökçay, C.F. and Demirer, G.N., 2003, Sequential (anaerobic/aerobic) biological treatment of malt whisky wastewater, *Process Biochemistry*, 39 (3), 279-286.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ünlü, A., Kınacı, C., Hasar, H., 2004, Batık membran-aktif çamur sistemleri ile peynir altı suyunun arıtılabilirliği ve sistemin modellenmesi, Tübitak YDABÇAG-199Y099, 80s.
- Vidal, G., Carvalho, A., Mendez, R. and Lema, J.M., 2000, Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters, Bioresource Technology, 74, 231-239.
- Viraraghavan, T. and Kikkeri, SR., 1990, Effect of temperature on anaerobic filter treatment of dairy wastewater, Water Science Technology, 22, 191-198.

ÖZGEÇMİŞ

Türkiye Cumhuriyeti vatandaşı olan aday 24.05.1978 yılında Sivas ili Kangal ilçesinde doğmuştur. İlkokulu Eskişehir İli Sivrihisar İlçesi Karadat Köyü İlkokulu'nda, Ortaokulu Alpu Lisesi'nde, Liseyi Eskişehir Atatürk Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1994 yılında Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümünü kazanmıştır. 1998 yılında “Biyolog” ünvanı ile mezun olmuştur. Aynı yıl OGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Genel Biyoloji Bilim Dalında yüksek lisansı kazanmıştır. 2000 yılında OGÜ Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümüne araştırma görevlisi olarak atanmıştır. 2001 yılında “Atıksulardan Biyolojik Yolla Yağ Giderimi” adlı yüksek lisansını başarıyla tamamlamıştır. 2001 yılında Osmangazi Üniversitesi'nde doktora eğitimine başlamıştır. Evlidir. Yabancı dili İngilizcedir.