

57563



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
DOKÜMANLARI  
KİTAPLIĞI

**TERMOFİLİK ANAEROBİK REAKTÖRDE ŞOK  
SICAKLIK VE ORGANİK YÜKLEMENİN MEYDANA  
GETİRDİĞİ ETKİLERİN İNCELENMESİ**

**Çevre Yük. Müh. Gürdal KANAT**

F.B.E. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında  
hazırlanan

**DOKTORA TEZİ**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mustafa ÖZTÜRK

İSTANBUL, 1996

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	viii
KISALTMALAR	ix
TEŞEKKÜR	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii

### BÖLÜM 1

#### 1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2. Çalışmanın Maksudı ve Kapsamı	2

### BÖLÜM 2

2. ANAEROBİK ARITMANIN GENEL ESASLARI	3
2.1. Hidroliz	4
2.2. Asit Üretimi	6
2.3. Asetat Üretimi	8
2.4. Metan Üretimi	8

### BÖLÜM 3

3. ANAEROBİK REAKTÖR SİSTEMLERİ VE DEVREYE ALINMASI	
3.1. Anaerobik Reaktör Çeşitleri	11
3.1.1. Sabit Filmlü Filtre ve Temas Prosesleri	11
3.1.2. Karşılımlı Sistemler	13
3.1.2. Reaktör Tiplerinin Karşılaştırılması	14



3.2. Yukarıakışlı Anaerobik Çamur Yataklı Reaktörlerin Özellikleri	16
3.3. Anaerobik Reaktörlerin Devreye Alınması	20

## BÖLÜM 4

4. ANAEROBİK ARITMA VERİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	
4.1. Sıcaklık ve Etkileri	24
4.2. pH ve Etkileri	29
4.2.1. Tamponlama Kapasitesi	32
4.2.2. Alkalinite	33
4.3. Nutrientler ve İz Elementler	37
4.4. Metanojenik Zehirlilik ve İnhibisyon (Engelleyici Etki)	40
4.4.1. Metanojenik Toksinlerin Etkisi	41
4.4.1.1. Sülfürün ve Metallerin Zehirlilik Etkisi	42
4.4.1.2. Amonyanın Toksik Etkisi	46
4.4.1.3. Uçucu Yağ Asitleri ve Toksik Etkisi	47

## BÖLÜM 5

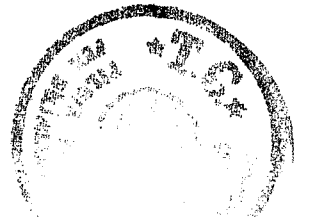
5. DENEY DÜZENEGİ VE DENEY METODLARI	
5.1. Deney Düzenegi	52
5.2. Analiz Metodları	55
5.3. Deney Metodları	58
5.3.1. Reaktörlerin Devreye Alınması	58
5.3.2. Kısa Süreli Sıcaklık Şoku Deneyleri	61
5.3.3. Uzun Süreli Sıcaklık ve Yükleme Şokları	63

## BÖLÜM 6

6. DENEY AŞAMALARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	
6.1. Deney Sonuçları	64
6.1.1. Anaerobik Reaktörlerin Devreye Alınma Kademesi	64

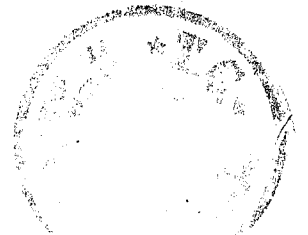


6.1.2. Arıtma Verimliliği	67
6.1.2.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Alkalinite Değişimi	69
6.1.2.2. Uçucu Yağ Asitlerindeki Değişimler	69
6.1.2.3. Gaz Ölçümü	74
6.1.2.4. Organik yükleme, UYA ve pH İlişkisi	74
6.1.2.5. Uçucu Yağ Aside ve KOİ Giderimi	76
6.1.3. Kısa Süreli Sıcaklık Şokları	77
6.1.4. Sıcaklık Değişimi ve UYA'nın Etkisi	77
6.1.5. Şok Organik Yüklemeler	85
6.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	97
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR	109
EKLER	116
ÖZGEÇMİŞ	130'



## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Anaerobik arıtmanın kademeleri	5
Şekil 4.1. Mezofilik arıtmada sıcaklık etkisi	26
Şekil 4.2. Termofilik arıtmada sıcaklık etkisi	27
Şekil 4.3. pH ve bikarbonat arasındaki bağıntı	35
Şekil 4.4. Anaerobik arıtmada KOİ/N oranı	39
Şekil 4.5. İyonize olmamış hidrojen sülfürün pH' ya bağlı değişimi	43
Şekil 4.6. İyonize olmamış amonyağın pH' ya bağlı değişimi	47
Şekil 4.7. İyonize olmamış asetik asitin pH' ya bağlı değişimi	49
Şekil 5.1. Deney düzeneği	53
Şekil 5.2. Reaktör çıkış yapısında yapılan değişiklik	53
Şekil 5.3. Standart uçucu yağ asitlerine ait kalibrasyon eğrisi	56
Şekil 5.4. GC çıkış sinyali örneği	57
Şekil 6.1. Devreye alma kademesinde reaktörlerdeki sıcaklık değişimi.	65
Şekil 6.2. Devreye alma kademesinde reaktörlerdeki alkalinite değişimi.	65
Şekil 6.3. Devreye alma kademesinde reaktörlerdeki pH değişimi.	66
Şekil 6.4. Devreye alma kademesinde reaktörlerdeki gaz üretimi.	66
Şekil 6.5. Reaktör 2 ve 3' te sıcaklık değişimi.	68
Şekil 6.6. Reaktör 2 ve 3' te KOİ giderimi.	70
Şekil 6.7. Reaktör 2 ve 3' te pH değişimi.	71
Şekil 6.8. Reaktör 2 ve 3' te alkalinite değişimi.	72
Şekil 6.9. Reaktör 2 ve 3' te uçucu yağ asidi değişimi	73
Şekil 6.10. Reaktör 2 ve 3' te gaz verimi.	76
Şekil 6.11. Reaktör 2' de kısa süreli sıcaklık şoku	78
Şekil 6.12. Reaktör 2' de kısa süreli sıcaklık şoku	79
Şekil 6.13. Reaktör 2' de kısa süreli sıcaklık şoku	80



Şekil 6.14. Reaktör 2' de kısa süreli sıcaklık şoku	81
Şekil 6.15. Reaktör 3' te kısa süreli sıcaklık şoku	82
Şekil 6.16. Reaktör 3' te kısa süreli sıcaklık şoku	83
Şekil 6.17. Reaktör 3' te kısa süreli sıcaklık şoku	83
Şekil 6.18. Farklı sıcaklıklardaki işletme parametreleri	84
Şekil 6.19. Uçucu yağ asitlerindeki değişim	85
Şekil 6.20. Reaktör 2' de organik şok yüklemeler	87
Şekil 6.21. Reaktör 3' te organik şok yüklemeler	89
Şekil 6.22. Uzun süreli sıcaklık ve şok yükleme	92



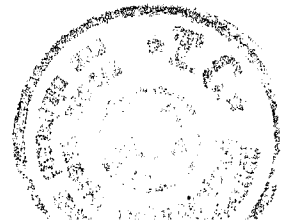
## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Karbonhidratlardan ve amino asitlerden uçucu asitlerin üretimi.	7
Tablo 2.2. Uçucu asitlerden asetat üretimi	8
Tablo 2.3. Metan bakterilerinin katalize ettiği reaksiyonlar	9
Tablo 3.1. YAÇ reaktörlerin devreye alınmasındaki literatür bilgisi	22
Tablo 4.1. Metan bakterilerinin elemental içeriği	37
Tablo 4.2. Anaerobik proseste faydalı nütrient miktarları ve etki şekli	40
Tablo 4.3. Alkali ve toprak alkali metallerin teşvik ve engelleyici etki konsantrasyonları	44
Tablo 4.4. Anaerobik reaktör için ağır metallerin toksisite etkileri	45
Tablo 5.1. Gaz kromatograf pik alanlarının değeri	58
Tablo 5.2. Reaktörlere ilave edilen besi maddeleri ve iz element miktarları	59
Tablo 5.3. Ham melasın bileşimi	60



## KISALTMALAR

- TAlk : Toplam alkalinite (mg CaCO<sub>3</sub>/L)  
TAN : Toplam amonyak azotu (mg NH<sub>3</sub>-N/L)  
TU YA : Toplam uçucu yağ asidi (mg/L)  
UA : Uçucu asit (mg HAc/L)  
UAN : İyonize olmamış amonyak azotu (mg/L)  
UYA : Uçucu yağ asidi (mg HAc/L)  
OYH : Organik yükleme(hızı) oranı (kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün)  
SRT : Çamur bekletme süresi (gün)  
So : Giriş KOİ' si, kg/m<sup>3</sup>  
t : Hidrolik bekleme süresi, gün  
t<sub>ç</sub> : Çamur bekleme süresi, gün  
V : Reaktör hacmi, m<sup>3</sup>  
X : Biyokütle konsantrasyonu, kg UAKM/m<sup>3</sup>  
X : Ortalama biyokütle konsantrasyonu, mg/L  
X<sub>e</sub> : Çıkıştaki biyokütle konsantrasyonu, mg/L  
Y : Bakteriyel dönüşüm katsayısı  
YAÇ : Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör  
BAlk : Bikarbonat alkalinitesi (mg CaCO<sub>3</sub>/L)  
HAc : Asetik asit (mg CH<sub>3</sub>COOH/L)  
H<sub>2</sub>S : Hidrojen sülfür  
HBS : Hidrolik bekletme süresi (gün)  
K<sub>a</sub> : Asit iyonlaşma sabiti  
KOİ : Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L)  
L<sub>ç</sub> : Çamur yükü, kg KOİ/kg UAKM-gün  
NH<sub>3</sub>-N : Amonyak azotu (mg/L)





Doktora tezini yöneten, çalışmalarım esnasında yardım ve teşviklerini esirgemeyen sayın Hocam Prof.Dr.Mustafa ÖZTÜRK' e teşekkür ederim.

Çalışmaların bütün safhalarında gösterdikleri yakın ilgiden dolayı başta Prof.Dr.Adem BAŞTÜRK olmak üzere isimlerini buraya alamadığım tüm Çevre Mühendisliği Bölümümüz elemanlarına şükranlarımı sunarım.

Tezin bazı safhalarında uygulanan Gaz Kromatograf analizlerinin yapılması için imkan sağlayan Marmara Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü elemanlarına da teşekkürü borç bilirim.



## ÖZET

Bu çalışmada, ilk adım olarak mezofilik şartlarda çalışan bir anaerobik reaktörden aşu çamuru alınarak, yukarıakışlı termofilik anaerobik (havasız) çamur yataklı reaktörlerin devreye alınma kademesi ve bu kademe esnasında dikkat edilmesi gereken hususlar incelenmiştir. Reaktörlerin devreye alınma işlemi tamamlandıktan sonra ise termofilik şartlarda çalışan anaerobik reaktörde, proses verimi üzerinde etkili olan şok sıcaklık ve organik yüklemenin meydana getirdiği değişimler araştırılmıştır. Ayrıca, şok sıcaklık ve pH değişimlerinin asidojen bakterilerin ürettiği ve metan bakterilerinin besi maddesi olarak kullandığı uçucu yağ asitlerinin konsantrasyonlarını, dolayısıyla reaktör verimini ne şekilde etkilediği ve söz konusu maddeleri parçalayan bakterilerin ne kadar süre sonunda normal hale dönebildiği incelenmiştir.

Laboratuvarında kurulan ve termofilik şartlarda çalışan 7.4 L.'lik iki reaktörde yapılan deneylerin sonucunda, reaktörlerin işletilmesi esnasında uçucu yağ asitlerinin artışından dolayı pH'nın 6.5'un altına düşmesi ile verimliliğin önemli ölçüde azaldığı ve reaktörün normal hale dönmesi için uzun bir süre gerektiği saptanmıştır. Sıcaklık şoklarının da ise 5-10°C' lik ani değişimlerde uçucu yağ asidi konsantrasyonlarında önemli bir değişim olmamıştır. Fakat şok yükleme kaldırılıp reaktör eski şartlarına döndüğünde biyogaz miktarının arttığı görülmüştür.

Ayrıca, organik yükleme şoku uygulamalarında belirli bir değere kadar stabilite korunurken, hidrolik şok yapılması durumunda çamur kaçıışı ve stabilite bozukluğu meydana geldiği görülmüştür. Şok yükleme veya benzeri bir nedenle stabilitesi bozulan reaktörlerde beslemenin azaltılması veya kesilerek uçucu yağ asitlerinin konsantrasyonunda düşme kaydedilene kadar beklenmesi gerektiği de saptanmıştır.



## ABSTRACT

In this research, effects of temperature and organic loadings shocks in process efficiency of a thermophilic anaerobic reactor were investigated. In the first stage, start-up of the reactors seeding with mesophilic bacteria was examined in the thermophilic range. Start-up was successful after one month which has some operation failure in a few days.

In addition, this research works volatile fatty acids (VFA) fluctuations in the lab scale thermophilic reactors (7.4 L). VFA used as substrate for methane bacteria are produced by acidogenic activity of anaerobic bacteria but affect reactor efficiency temporarily or continuously if VFA concentrations increase, so pH decrease below 6.5. Efficiency drops down and stay in bad conditions for a time depends upon environmental changes.

There was no VFA fluctuation but methane gas production drop after temperature shocks of 5-10°C has been removed. Where as, during shock loading increase, especially with a hydraulic shock, VFA increase was observed. In this case, reactor feeding should stop until digestion of inhibiting acids.

**Key Words :** Anaerobic wastewater treatment, thermophilic, shock changes.



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Günümüzde hızlı sanayileşmenin bir sonucu olarak çevre kirlenmesi de büyümektedir. Atık miktarları toplumların refah seviyesine ve şehirlerde yoğunlaşmasına bağlı olarak hızla artmaktadır. Bunun sonucunda ekolojik denge de hızla bozulmaktadır. İnsan, çevresiyle beraber ekolojik döngünün bir parçası olduğundan, dengesini bozduğu ekolojik çevrimin korunması için emek ve para sarfetmek zorunda kalmıştır. Bu nedenle uygun bir çevre korunması için minimum tüketim ve maksimum geri kazanma metodları üzerinde çalışılmaktadır.

Mevcut atık ve atıksu uzaklaştırma ve arıtma problemleri büyük yatırımlar yapılarak zamanla çözüme ulaştırılabilmemesine rağmen sonuç olarak daima arıtılması çok güç konsantre arıtma çamurları ve katı atıklar kalmaktadır. Bu nedenle mali kaynakları zayıf olan ülkelerde basit, pahalı olmayan, geri kazanma ve yeniden kullanma metodlarıyla bağlantılı uygun arıtma tekniklerinin kullanılması ve bu tesislerden çıkacak artıkların ihmal edilmeden takip edilmesi gerekmektedir.

Bir çok atık türünün arıtılmasında kullanılan yöntemlerden birisi biyolojik arıttır. Doğada kendiliğinden var olan bu arıtım yöntemi teknolojik imkanlar kullanılarak çok miktarda atığın hızlı ve kontrollü olarak arıtılmasını temin etmektedir. Biyolojik arıtım aerobik ve anaerobik arıtım olmak üzere başlıca iki gruba ayrılmaktadır.

Anaerobik atıksu arıtımı bir kısım özellikleri dolayısıyla son yıllarda önem kazanmış ve üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bilhassa konsantre sanayi atıksularının arıtımı maksadıyla çok sayıda anaerobik arıtma tesisi kurulmuştur. Ülkemizde ise son yıllarda yurtdışı firmalardan lisans almak suretiyle inşa edilmiş sınırlı sayıda anaerobik tesis mevcuttur.

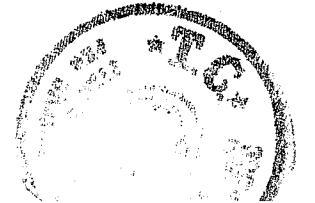


Nispeten yeni bir uygulama yöntemi olduğu için anaerobik arıtım prosesinin hangi şartlarda hangi atıksulara uygulanabileceği, tesisin işletilmesi esnasında ne gibi hususlara dikkat edilmesi gerektiğinin bilinmesi bu arıtım yönteminden azami derecede fayda sağlamak için önem taşımaktadır.

## 1.2. ÇALIŞMANIN MAKSADI VE KAPSAMI

Anaerobik atıksu arıtımı birkaç türdeki bakteri grubunun bir arada faaliyeti sonucunda meydana gelen bir biyokimyasal reaksiyonlar zinciridir. Bu mikroorganizma grupları üretici-tüketici ilişkisi içinde bir diğer grupla bağlantılıdır. Bu nedenle zincirin bir halkasında meydan gelecek kopukluk tüm reaksiyonları etkileyecektir. Anaerobik mikroorganizmalar diğer bütün canlı türleri gibi hatta daha da fazla derecede ortam şartlarına ve çevreye karşı duyarlıdırlar. Ortamın sıcaklığı, pH değeri, besi maddesi yokluğu, zehirli maddelerin varlığı gibi hususlar mikroorganizmaların faaliyetine doğrudan etkilidir. Bunun yanında stabil şartlarda işletmeye başlanılan bir reaktörde sıcaklık, pH, organik yükleme gibi işletme parametrelerinde meydana gelebilecek değişimler de mikroorganizmalar üzerinde geçici veya kalıcı etkiler bırakmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bahsedilen hususlar göz önüne alınarak laboratuvar şartlarında çalıştırılan anaerobik reaktörde, atıksu arıtma uygulamalarında görülebilecek en önemli etkilerden olan sıcaklık ve organik yükleme şokları incelenmiştir. Deney çalışmalarında öncelikle mevcut bir mezofilik arıtma reaktöründen alınan aşı çamurunun termofilik şartlara uyumunun ne kadar sürdüğü ve bu esnada ne gibi zorluklarla karşılaşılacağı araştırılmıştır. Ayrıca, devreye alma kademesinin tamamlanmasından sonra reaktörler kararlı (stabil) şartlarda çalıştırılarak şok sıcaklık ve organik yüklemenin meydana getirebileceği olumsuz etkiler incelenmiştir. Anaerobik bakteri gruplarının her birinin reaktör ortamında meydana gelen bu ve benzeri olumsuzluklardan farklı derecede etkilenebileceği göz önünde tutularak çalışmaların bazı kısımlarında anaerobik bakteri grupları için üretim ve/veya tüketim maddesi olan uçucu yağ asidi türlerinde meydana gelen değişimler incelenerek bakterilerin etkilenme şekli ve derecesi bulunmaya çalışılmıştır.



## BÖLÜM 2

### ANAEROBİK ARITMANIN GENEL ESASLARI

Anaerobik arıtma (havasız arıtma), organik atıkların, oksijensiz ortamda muhtelif tür mikroorganizmaların birarada faaliyeti sonucu parçalanarak karbondioksit, metan, hidrojen sülfür ve amonyak gibi son ürünlere dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucu çeşitli yükseltgenme/indirgenme kademesinde yer alan karbonlu besi maddeleri en fazla yükseltgenmiş ( $CO_2$ ) ve en fazla indirgenmiş ( $CH_4$ ) kademedeki bir karbonlu moleküllere çevrilir. Bu ürünler termodinamik olarak atmosferik basınçta en fazla stabil durumdadır ve ekosistemde nitrat veya oksijen gibi inorganik elektron alıcı ve ışık mevcut değilse daha fazla ayrışma uğramayacaktır.

Anaerobik arıtma prosesinin temel esaslarının bilinmesi en uygun ve en verimli reaktör tasarımı için gereklidir. Anaerobik biyolojik atıksu arıtımı, bir çok tür mikroorganizmanın bir arada faaliyet göstermesini gerekli kılan kompleks mikrobiyolojik bir prosestir. Arıtma reaktörünün verimliliği bu mikroorganizma grupları arasındaki dengeye bağlıdır. Atıksuda kirletici niteliği taşıyan kompleks organik maddeler hidrolize olup daha basit yapılu maddelere ve uzun zincirli uçucu yağ asitlerine (asetik, propiyonik, bütirik, valerik,...) çevrildikten sonra metanojenler olarak adlandırılan bakteriler tarafından metan ve karbondioksite dönüştürülürler.

Organik maddeler çeşitli mikrobiyal etkiler vasıtasıyla oksijen, nitrat ve sülfat gibi elektron alıcıların yokluğunda metan ve karbondioksite dönüştürülebilmektedir. Anaerobik proseslerde organik maddelerdeki kimyasal enerjinin çoğu metan olarak geri kazanılırken, aerobik proseslerde ise, bu organik maddelerdeki kimyasal enerjinin çoğu bakteriyel metabolizma için kullanılır. Bu nedenle de oldukça büyük miktarda bakteriyel hücre üretilmektedir.

Metan üreten metanojenik bakteriler çok az sayıda besi maddesi kullanmaktadırlar. Bunlar bir-karbonlu bileşikler olan karbondioksit ( $CO_2$ ), format ve metilamin gibi maddeler ve asetat, etanol, izopropanol gibi basit bileşiklerdir. Bu nedenle kompleks

organik bileşiklerin metana dönüşümü, metanojenik ve metanojenik olmayan bakteriler arasında birbirine bağlantılı reaksiyonlar olmasını gerekli kılar. Şekil 2.1'de anaerobik reaksiyon sonucu karbonun metana dönüşümü görülmektedir.

Şekilden de görüldüğü gibi kompleks organik maddelerin mikroorganizmalarca anaerobik ayrışma prosesi başlıca dört safhada gerçekleşmektedir.

Bunlar :

1. Hidroliz
2. Asit Üretimi
3. Asetat Üretimi
4. Metan Üretimi

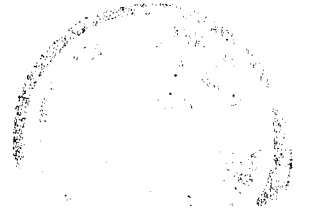
kademeleridir (Denac ve diğ., 1988; Breure ve van Andel, 1985).

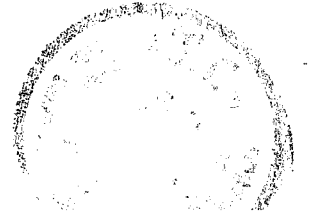
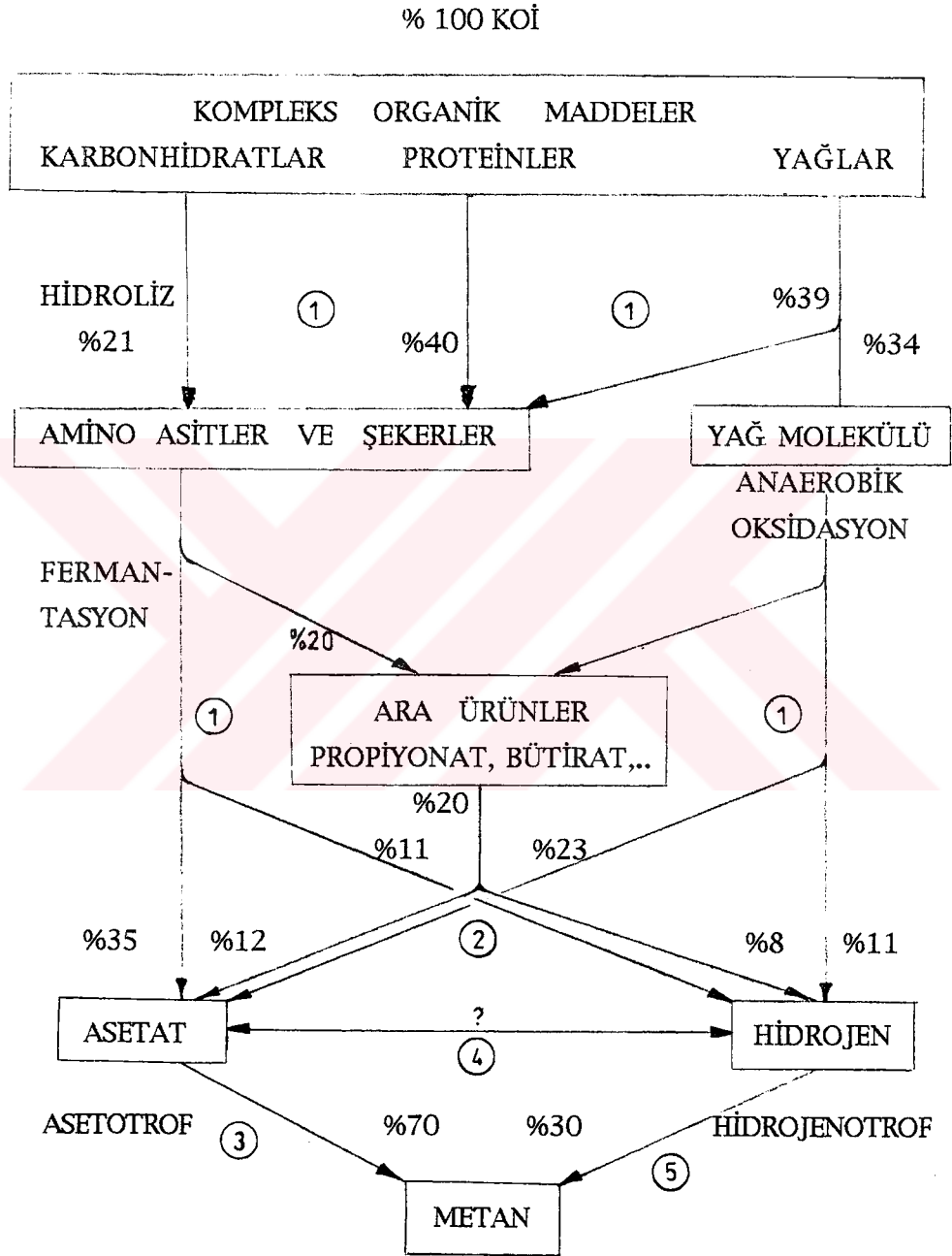
## 2.1. HİDROLİZ

Çözünemeyen organik maddeler (polisakkarit, protein, yağlar) öncelikle şeker, peptidler, amino asitler ve serbest yağ asitleri gibi çözünebilir birimlere hidrolize olmalıdır. Bu işlem, çözülmüş maddeleri önce hidrolize edip daha sonra organik asit, hidrojen ( $H_2$ ) ve karbondioksit ( $CO_2$ ) çeviren fermentatif bakteriler (Grup 1) tarafından gerçekleştirilir. Asetattan daha uzun zincirli asitler ve diğer organik asit ve alkoller asetata, hidrojene ve  $CO_2$ 'e dönüştürülür. Bunu gerçekleştiren hidrojen üreten (proton azaltan) asetojenik bakterilerdir (Grup 2).

Bu iki grubun, kompleks bileşikleri, metanojenlerin kullanabileceği basit bileşiklere dönüştürmesi sonucu meydana gelen  $H_2+CO_2$ , "hidrojenotrofik metanojenler" (Grup 3) tarafından; diğer bir ürün olan asetat ise "asetotrofik metanojenler" (Grup 5) tarafından metan ( $CH_4$ ) ve  $CO_2$  'e dönüştürülür.

Nişasta, sakkaroz, glikojen gibi bazı karbonhidratlar, mikroorganizmaların salgıladığı amilaz enzimleri tarafından kolayca hidrolize olurlar. Keza, pektinler ve benzeri bileşikler salgılanan pektinazlar ve amilazlar tarafından hidrolize olurlar (Zeikus, 1980).







Selüloz, kimyasal ve fiziksel yapısından dolayı çok zor hidrolize olur. Bazı protozoa ve bakteri türlerinin (Clostridium gibi) selülozları fermente olabilen dimer sellobioza hidrolize ettiği bilinir. Selülozik atıkların anaerobik mikrobiyolojik parçalanmasında, hidroliz safhası tüm prosesin reaksiyon hızını sınırlayıcı basamağıdır.

Proteinler, proteazlar ve peptidaz enzimleri tarafından hidrolize edilir. Bu enzimler kısmen hücre duvarında kısmen de reaktör sıvısı içinde bulunurlar. Proteinlerin hidrolizi, amino asit kompozisyonuna bağlıdır. Bileşiğin uzaysal yapısı çok önemlidir. Çözünabilir proteinler, çözünür olmayanlara göre çok daha hızlı hidrolize olurlar. Çözünür olmayan besi maddelerinin hidrolize edilebilmesi için mikroorganizmalar besi maddelerine yapışarak faaliyet gösterir.

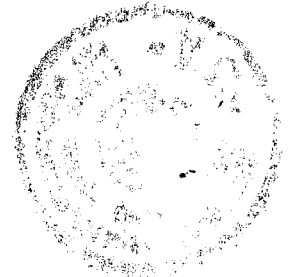
Yağlar, anaerobik arıtmada kolayca giderilemez. Bazı Clostridium türlerinin gliseridezleri hidrolize ettiği bilinmektedir (Breure, 1985 ve Stronach v.d., 1986).

Kompleks organik maddelerin anaerobik ortamda hidrolizinde değişik mikrobiyal türler mevcuttur. Bunların çoğu zorunlu anaerob olmakla birlikte Streptococci ve Enterics gibi türler fakültatif anaerobtur. Bacteroides, Clostridium, Butyrivibrio, Eubacterium, Bifidobacterium, Lactobacillus gibi mezofilik türler ve diğer pek çoğu baskın organizma şeklinde bulunmaktadır.

## 2.2. ASİT ÜRETİMİ

Kompleks organik maddeler, suda çözünabilir daha basit organik maddelere hidrolize olduktan sonra, asitojen bakteriler vasıtasıyla organik asitlere, karbondioksite ve hidrojene fermente olurlar. Asitojen bakteriler metanojenlere göre daha hızlı büyürler ve pH değişimine karşı çok fazla hassas değildirler. Asitojen bakteriler fakültatif anaeroblar (oksijen mevcudiyetinde yaşayabilen), zorunlu anaeroblar veya her ikisinin karışımı olabilir.

Asitleşme safhası esnasında karbonhidratlar ve amino asitler asitojen bakterileri tarafından propiyonik, butirik ve valerik asite fermente olurlar (Tablo 2.1). Organik asitlerin üretimi esnasında asetik asit, hidrojen ve karbon dioksit de oluşur.

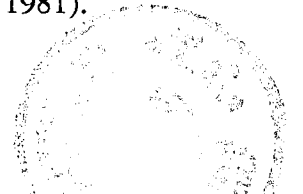


Tablo 2.1. Karbonhidratlardan ve Amino Asitlerden Uçucu Asitlerin Üretimi (Thauer v.d. 1977 ve Gottschalk, 1979).

Girenler	Ürünler	$\Delta G^{\circ}(\text{kJ})$
<u>Karbonhidratların Asidojen Ayrışımı</u>		
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{H}_2\text{O}$	$\text{---} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + 3\text{H}^+ + \text{H}_2$	-283
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{---} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{H}_2$	-255
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{---} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 2\text{HCO}_3^- + 2\text{H}^+$	-226
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{---} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}^+ + 4\text{H}_2$	-206
<u>Amino Asitlerin Asidojen Ayrışımı</u>		
$2\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH} + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{---} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2$	-52
$\text{COOHCH}(\text{NH}_2)(\text{CH}_2)_2\text{COOH} + 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{---} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + \text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2$	-34
$\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH} + \text{H}_2$	$\text{---} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{NH}_4^+$	-78
$\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} + 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{---} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+8
$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH} + 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{---} \rightarrow$	
	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COO}^- + \text{NH}_4^+ + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$	+4

Tablo 2.1 incelendiği zaman meydana gelen organik maddelerin şeklindeki değişme basittir ve küçük bir kısmı enerji kaynağı olarak tüketilmiştir. Asit üretimi esnasında hidrojen gazıda meydana gelmektedir. Asit üretimi devam ederse artan hidrojen miktarı birçok asit oluşturuca bakteriyi inhibe eder, bu nedenle sistemden giderilmelidir. Hidrojen, bazı metan bakterileri için bir enerji kaynağı olduğundan hızlı bir şekilde karbondioksitin metana indirgenmesinde tüketilir.

Hidrolize olmuş organik maddeleri asetik asit şekline getirebilecek Lactobacillus, Escherichia, Staphylococcus, Micrococcus, Bacillus, Pseudomonas, Desulfovibrio, Selemonas, Veillonella, Sarcina, Streptococcus, Desulfobacter ve Desulfononas gibi çok sayıda mikroorganizmanın varlığı tespit edilmiştir (McInerney v.d., 1981).



### 2.3. ASETAT ÜRETİMİ

Asit üretimi esnasında oluşan propionat, butirat ve valerat gibi ürünler metanojenik bakteriler için uygun bir besi maddesidir. Bu maddelerin asetata ve hidrojene oksidasyonu için hidrojen kısmi basıncının,  $10^{-3}$  atmosferin altında tutulması gerekmektedir. Bu durum, metanojenler ve sülfat indirgeyici organizmalar tarafından  $H_2$ 'nin hızlı bir şekilde tüketilmesiyle başarılır. Aksi takdirde, organik asitlerin konsantrasyonları artarak ortamın pH'sını düşürür. Böylece ortam tamamen verimsiz hale gelir (Breure, 1985; Stronach v.d., 1986). Kararlı (stabil) şartlarda, karbondioksit, hidrojenle reaksiyona girerek hidrojen konsantrasyonunun  $10^{-3}$  atmosferin altında kalmasını sağlar. Asetat üretimi safhasında gerçekleşen reaksiyonlar Tablo 2.2'de verilmiştir (Thauer v.d., 1977).

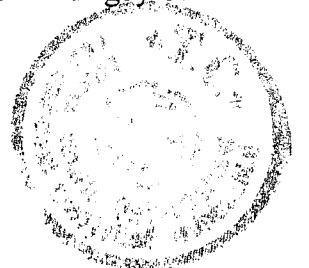
Tablo 2.2. Uçucu Asitlerden Asetat Üretimi

Girenler	Ürünler	$\Delta G^{\circ}(\text{kJ})$
$CH_3CH_2COO^- + H_2O + H^+$	$\rightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + 2H^+ + 3H_2$	+76
$CH_3CH_2CH_2COO^- + 2H_2O + H^+$	$\rightarrow 2CH_3COO^- + 2H^+ + 2H_2$	+47
$CH_3CH_2OH + H_2O$	$\rightarrow CH_3COO^- + H^+ + 2H_2$	+2

### 2.4. METAN ÜRETİMİ

Anaerobik ayrışmada son basamak metan fermentasyonudur. Bu safhada iki kademe reaksiyon gerçekleşir. Birincisinde asetate, metan ve karbondioksit fermente olur. İkincisinde ise asetate, metan ve karbondioksit çevrilir. Her iki safhada meydana gelen ürünler ya gaz olarak çıkar veya bikarbonat alkalinitesine dönüşürler ya da hidrojen ile birleşerek metan ve suyu meydana getirirler (Wiegant v.d., 1986).

Şimdiye kadar 15 farklı metan bakterisi izole edilmiştir. Formik asit, asetik asit, metanol ve hidrojen, çeşitli metanojen bakterilerin enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Asetik asit ve hidrojen, metan oluşumu için ana besi maddesi olarak hizmet görür. Anaerobik arıtmada oluşan metanın yaklaşık %72' si asetatin bölünmesinden meydana gelir. Geriye kalan %28' lik miktar ise  $CO_2$ -indirgeyici



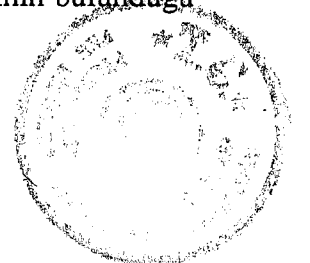
metanojenler tarafından enerji kaynağı olarak kullanılan hidrojenin karbondioksiti indirgenmesinden meydana gelir. Tablo 2.3' te çeşitli ürünler vasıtasıyla metan oluşumu görülmektedir.

Tablo 2.3. Metan bakterilerinin katalize ettiği reaksiyonlar.

Girenler	Ürünler	$\Delta G^{\circ}(\text{kJ})$
$4\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{---> CH}_4 + 3\text{CO}_2$	-185.1
$4\text{H}_2 + \text{CO}_2$	$\text{---> CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-139.2
$\text{HCOO}^- + 3\text{H}_2 + \text{H}^+$	$\text{---> CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-134.3
$4\text{HCOO}^- + 2\text{H}^+$	$\text{---> CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{HCO}_3^-$	-126.8
$\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2$	$\text{---> CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	-121.1
$4\text{CH}_3\text{OH}$	$\text{---> 3 CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	-102.5
$4 \text{CH}_3\text{NH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$	$\text{---> 3 CH}_4 + \text{CO}_2 + 4\text{NH}_4^+$	-101.6
$2(\text{CH}_3)_2\text{NH} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$	$\text{---> 3 CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{NH}_4^+$	-86.3
$4(\text{CH}_3)_3\text{N} + 6\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$	$\text{---> 9 CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 4\text{NH}_4^+$	-80.2
$2 \text{CH}_3\text{CH}_2\text{-N}(\text{CH}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{---> 3CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$	-70.0
$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$	$\text{---> CH}_4 + \text{HCO}_3^-$	-28.2

Moleküler hidrojen anaerobik arıtmada önemli bir ara üründür. Metan üretiminin %30'u,  $\text{CO}_2$ 'nin moleküler hidrojen ( $\text{H}_2$ ) kullanılarak indirgenmesiyle oluşur. Fakat hidrojen konsantrasyonu yüksekse organik maddelerden üretilen propiyonat ve bütirat konsantrasyon artarken asetata parçalanma işlemi yavaşlar ve sonuç olarak bu maddelerin birikimi artar. Anaerobik reaktörde hidrojen konsantrasyonu reaksiyonlarda oluşan hidrojen üretimi yada metanojenlerin inhibisyonu sonucu artar. Düşük hidrojen konsantrasyonda fazla elektronlar için protonlar elektron alıcı olarak tercih edilir ve sonuçta moleküler hidrojen ve ilaveten asetat ve  $\text{CO}_2$  oluşur (McInerney v.d., 1981).

Hidrojen konsantrasyonu ayrıca hidrojen, asetat ve  $\text{CO}_2$ 'den geri dönüşüm reaksiyonlarıyla uçucu yağ asidi oluşumunda da etkilidir (Mackie, 1981). Hidrojen kullanarak  $\text{CO}_2$ 'yi asetata indirgeyip daha yüksek uçucu yağ asidi üreten bir çok bakteri izole edilebilmiştir. Yüksek hidrojen konsantrasyonları asetoklastik metanojenlerin asetatu parçalamasını da engeller. hidrojen'nin üretildiği besi maddelerinin bulunduğu



ortamda methanosarcinae bakterileri mevcut ise asetatin parçalanması sadece hidrojen üreten besi maddesi bittikten sonra başlar. Eğer reaktör içine hidrojen gazı verilirse asetate parçalanması inhibe edilir. (Boone, 1982).

Tam olarak okside olmamış reaksiyonlarda önemli bir ürün olan asetate oluşumu düşük hidrojen konsantrasyonlarında mümkün olmaktadır. Karbondioksit ile hidrojenin sürekli giderimi önem taşımaktadır. Metanojenler tarafından hidrojen giderme verimi düşük iken hidrojen kısmi basıncı artar ve sistemde biriken hidrojen kullanılmadığından asetik asit yerine periyodik asit, bütirik asit gibi uçucu yağ asitleri teşekkül eder.

Metanojen bakterilerin hepsi metanojenik reaksiyonlar ve büyüme için elektron verici olarak sadece hidrojen kullanmaktadırlar. Karbondioksit, hidrojenin besi maddesi olarak kullanılması esnasında metana indirgenmektedir. Bazı metanojen bakteri türleri, metil karbonunun dönüşümü ile, karbon ve enerji kaynağı olarak format kullanır.

Organik maddenin ayrışması sonucu meydana gelen metan gazının yakılması sonucu açığa çıkan enerji miktarı da aşağıdaki denklemle tahmin edilebilir. Yani,



reaksiyonundan elde edilebilecek enerji miktarı hesaplanabilir. Standart şartlar altında (°C ve 1 atmosfer basınç altında) 1 mol metan gazının okside olması için 2 mol oksijen gereklidir. Bu da 64 gr KOİ'ye eşittir. Buna göre stabilize olmuş 1kg KOİ, oluşan 0,35 m<sup>3</sup> metana eşittir (standart şartlar altında).

Açığa çıkan enerji miktarı hesaplanacak olursa, 1kg KOİ'nin stabilizasyonundan 13,1MJ enerji açığa çıkar. Farklı sıcaklık şartları için ideal gaz kanunu kullanılarak farklı gaz üretim değerleri elde edilebilir (Parkin, 1986).



## BÖLÜM 3

### ANAEROBİK REAKTÖR SİSTEMLERİ VE DEVREYE ALINMASI

#### 3.1. ANAEROBİK REAKTÖR ÇEŞİTLERİ

Atıksuların arıtılması için biyolojik vasıtalar olarak birçok anaerobik reaktör tipi kullanılmaktadır. Herbir farklı reaktör tasarımı kendine ait çamur bekleme süresi/hidrolik bekleme süresi oranını içermektedir. Çamur bekleme süresi biyolojik sistemlerde temel tasarım parametresidir. Bu sürenin maksimum olması proses stabilitesi ve minimum çamur üretimi için arzu edilir. Minimum hidrolik bekleme süresi ise reaktör hacmini minimize eder ve böylece ilk yatırım maliyeti azalır.

Anaerobik arıtmada kullanılan reaktörler genel olarak iki guruba ayrılır:

- a) Sabit filmlili reaktörler,
- b) Bağlı olmadan büyüyen biyokütleli sistemler.

Birinci grupta, biyokütle inert maddelere film olarak bağlanmış bakteri gruplarından meydana gelir. İkincisinde ise reaktör içinde granül veya flok olarak askıda halde bulunan mikroorganizmalar faaliyet gösterir.

##### 3.1.1. Sabit Filmlili Filtre ve Temas Prosesler

Biyokütlenin çökeltilmesi ve geri devri anaerobik arıtmada bazı zorluklar çıkardığı için, biyokütlenin inert yüzeyler veya taşıyıcı partiküller üzerinde sabit kılındığı prosesler üzerinde çeşitli teknikler incelenmiştir. Bu tip reaktör tiplerinden olan anaerobik filtreler ve döner biyolojik diskler nispeten daha çok miktarda inert maddeler gerektirirken yardımcı taşıyıcı temas proseslerde kullanılan inert madde miktarı ise daha az olmaktadır.



**Anaerobik Filtreler:** Anaerobik filtre sistemlerinde atıksu genellikle reaktörden düşey akış (aşağı veya yukarı akış) ile geçer. Yukarı akışlı reaktörlerde biyokütle mikrobiyal flok olarak birikir. Oysa aşağı akışlı sistemde biyokütle, tamamen reaktör duvarları ve inert maddeler üzerinde bir film olarak alıkonulur.

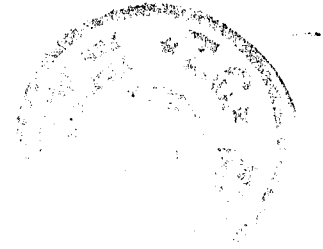
Anaerobik filtrelerde, biyogaz üstte toplanır. Sistem, çevre sıcaklığında çalışabilir veya ısıtılır. Çeşitli dolgu maddesi tipleri aşağı ve yukarı akışlı anaerobik filtrelerde kullanılır. Ortalama çapı 0.2 mm. ile 6.0 cm. olan gözenekli veya gözeneksiz yapılar kullanılır. Aşağı akışlı filtreler, aşırı küçük dolgu maddelerinin kullanılması durumunda tıkanmalarla karşı karşıya kalabilir.

**Döner Biyolojik Diskler:** Döner diskte mikroorganizmalar, biyofilm formunda inert plastik diske bağlı olarak biyolojik reaksiyonları gerçekleştirirler. Disk, kısmen veya tamamen suya daldırılır ve yatay eksen etrafında yavaşça döner. Atıksu içindeki dönme hızı biyofilm kalınlığı üzerinde kontrolü sağlar. Disk yaklaşık 1-7 devir/dakika hızında döndürülür.

Genelde, piston akım şartları hakimdir ve aşırı çoğalan çamurun reaktörden ayrılması artırılmış su ile olur. Gaz üretimi disk üzerindeki filmin pul pul dökülmesine yardımcı olur ve biyofilm kalınlığını kontrol eden etki meydana getirir. Döner diskte disk yatay bir mil üzerine dizayn edilmiştir. İki plaka arasındaki mesafe yaklaşık 20 mm.' dir. Disk çapı 2-3 m. ve plaka kalınlığı 10-20mm. arasında değişmektedir.

**Genişletilmiş Yatak Reaktörler:** Anaerobik sabit film yataklı genişletilmiş çamur yatak prosesi Jewell ve arkadaşları tarafından 1974 yılında geliştirilmiştir. Anaerobik sabit film yataklı genişletilmiş çamur yatak oda sıcaklığında seyreltik suları arıtma kapasitesi olan bir sistem olarak düşünülmüştür.

Anaerobik sabit film genişletilmiş çamur yataklı reaktörler silindirik bir yapıya sahiptir ve hacminin %10' u kadar inert maddeler içerir. Ortam kum, çakıl, antrasit ve plastikten oluşabilir. Anaerobik reaktör yatağın genişletilmesinin en önemli avantajı tıkanma probleminin minimize edilmesidir. Buna karşılık ortamın genişlemesi için gerekli enerji girişi yüksektir. Bunu azaltmak için taşıyıcı taneciklerin bileşenlerinin yoğunluğunun mümkün olduğu kadar düşük olması gerekir. Taşıyıcı üzerinde büyüyen biyokütle partikül yoğunluğunu da artırır.





**Akışkan Yataklı Reaktörler:** Biyolojik anaerobik akışkan yatak kavramı, başlangıçta denitrifikasyon prosesleri ile karbon ve azot oksidasyon sistemleri için kullanılmıştır. Tipik akışkan yataklı reaktörlerde giriş akımı reaktör tabanındandır. Akışkan yataklı sistemlerde bakteriler kum, aktif karbon veya cam boncuklardan oluşan küçük çaplı maddelerin çapı 0.5-0.7 mm.' dir. Küçük inert maddelerin kullanılmasıyla daha geniş bir yüzey alanı sağlanabilir. Akışkan yataklı reaktörlerde tipik yüzey alanı  $300 \text{ m}^2/\text{m}^3$  tür. Akışkan yataklı reaktörlerde destekleyeci partiküllerin küresel yada yarı küresel formlarda olması istenir. Çünkü bu durum akışkanlığı ve onların kinetik karakterlerini anlamayı kolaylaştırır. Değişik yüklerde ve sıcaklıklarda akışkan yataklı reaktörler başarıyla kullanılmıştır.

### 3.1.2. Karışımli Sistemler

Karışımli sistemlerde atıksular reaktör içinde bulunan granüle veya flok olarak askıda halde bulunan biyokütle vasıtasıyla arıtılır. Başlıca reaktör tipleri aşağıda kısaca verilmektedir:

**Tam Karışımli Tank Reaktörler:** Tam karışımli tank reaktörler, evsel atıksuların arıtılması için uygulanan ilk basit anaerobik reaktördür. Etkili bir arıtma için bu reaktörlerin tasarımı uzatılmış bir hidrolik bekleme süresi gerektirir. Biyokütlenin kaçışının önlenmesi için özel bir yapıya sahip değildir. Bu sistemlerde çamur bekleme süresi de biyolojik dönüşme reaksiyonlarının olması için yeterince yüksek olmalıdır.

Tam karışımli tank reaktörlerde karıştırma genelde pedal veya çark sistemleri yada taban yakınına yerleştirilen gaz difüzörleri vasıtasıyla temin edilir. Çamur bekleme süresi ve hidrolik bekleme süresi bu tip reaktörlerde birbirine eşittir.

**Temas Prosesleri :** Temas veya geri devirli flok prosesler, sürekli beslemeli tam karışımli reaktör ile katı-sıvı ayrımını gerçekleştiren bir çökeltim tankını ihtiva eder. Temaslı proseslere, tam karışımli tank reaktörlerden farklı olarak bir çöktürme havuzu yerleştirilmiştir. Çıkış suyu çöktürme tankından deşarj edilir. Temas reaktörün içindeki bakteriler askıda halde flok olarak bulunur ve mekanik karıştırma, gaz kabarcıkları veya geri devirli askıda halde tutulur.





**Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör:** Biyokütlelerin sabit bir yüzeye tutunmadan askıda halde faaliyet gösterdiği karışımli bir reaktör sistemi olan yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler, 1970' li yıllarda Lettinga ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş ve kısa zamanda büyük bir ilgi görerek değişik birçok endüstriyel atıksu arıtımı için başarıyla kullanılmıştır. Altmışlı yıllarda kullanılan ters akımlı Dorr Oliver tipi reaktörler yukarıakışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerin ilk kullanılan şekli olarak bilinmektedir.

Günümüzde yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler evsel ve endüstriyel atıksu arıtımında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörün prensibi iyi bir çökeltme özelliğine sahip ve özgül aktivitesi yüksek çamurun gelişmesini sağlamaktır. Reaktörün alt kısmında mevcut olan anaerobik çamur, organik maddeleri etkili bir şekilde ayrıştırmakta, askıdaki katı madde ve kolloidal maddenin tutunarak çökeltmesini sağlamaktadır.

### 3.1.3. Reaktör Tiplerinin Karşılaştırılması

a) Aşırı Yüklemeğe Göre : Anaerobik atıksu arıtımında kısa süreli hidrolik aşırı yükleme, arıtma verimini başarısız kılan, önlenmesi güç bir problemdir. Bu durumu önlemek için azaltılmış bir reaksiyon süresi gerekir. Hidrolik aşırı yük, bağı olmayan biyokütlenin yıkanmasına sebep olabilir. Geri devir imkanlarının olmadığı hallerde bu problem şiddetlenir ve sonraki işlemlerin başarısızlığı sistemde yavaş büyüyen metanojenik bakterilerin kaybının sonucudur. Bunun aksine sabit filmli reaktörler, özellikle genişletilmiş ve akışkanlaştırılmış yataklar çeşitli aşırı hidrolik yüklere karşı uygun olabilir.

b) Bekletme Sürelerine Göre : Hidrolik bekletme süresi, biyokütleler ve atıksu arasındaki temasın ortalama zamanıdır ve sistemdeki biyokütle bekletme süresi metanojenlerin büyümesine izin vermesi bakımından yeterince uzun olmalıdır.



Reaktör Tipi	Hidrolik bekleme süresi	Çamur bekleme süresi
Tam karışımli	10 - 60 gün	10 - 60 gün
Temas tipi	12 - 15	20
Yukarıakışli çamur yataklı	0.5 - 7	20
Anaerobik filtre	0.5 - 12	20
Döner disk	0.4 - 1	30
Yardımcı taşıyıcıli temasli	0.2 - 3	20
Genişletilmiş bağlı film	0.2 - 5	30
Akışkan yataklı	0.2 - 5	30

c) Organik yükleme oranına göre : Genişletilmiş yatak ve akışkan yataklı filtre reaktörler, sabit yataklılara göre anaerobik biyolojik ayrışma için daha verimlidir. Yüksek organik yüklemelerde en büyük besi maddesi giderme verimi uzun ve dar reaktörlerde başarılmıştır.

Reaktör Tipi	Yükleme oranı (kg KOİ/m <sup>3</sup> -gün)	% KOİ giderimi
Tam karışımli	0.25 - 3.0	80
Temas tipi	0.25 - 4.0	80-90
Yukarıakışli çamur yataklı	10.0 - 30.0	65-95
Anaerobik filtre	4.0 - 5.0	90
Döner disk (kg BOİ/m <sup>2</sup> -gün )	0.005-0.02	96
Yardımcı taşıyıcıli temasli	1.0 - 40.0	65-85
Genişletilmiş bağlı film	1.0 - 50.0	90
Akışkan yataklı	1.0 - 100.0	90



### 3.2. YUKARI AKIŞLI ANAEROBİK ÇAMUR YATAKLI REAKTÖRLERİN ÖZELLİKLERİ

Yukarıakışlı anaerobik (havasız) çamur yataklı reaktörlerde arıtılacak atığın tipi ve kompozisyonu, atığın kuvveti ve kirlilik yükü, organik yük ve debi değişimleri, organik yükleme, çamur ve hidrolik bekleme süreleri gibi pek çok faktör proses performansına etki etmektedir. Yukarıakışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler önceleri kompleks olmayan düşük kuvvette ( $KOİ > 3000$  mg/L) ve orta kuvvette (3000-20000 mgKOİ/L) çözülmüş atıkların arıtılması için geliştirilmesine rağmen yüksek kuvvette atıklarda da başarıyla uygulandığı görülmektedir. Ancak, yüksek uçucu yağ asidi konsantrasyonlu atıklarda, yüksek KOİ değerlerinde çıkış suyu geri devri uygulanmalı ve aşırı organik yüklemekten de kaçınmak gereklidir.

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler, organik madde ve debide önemli değişikliklere sahip atıkları da başarıyla arıtılabilmektedir. Bu durumda yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörün önüne bir dengeleme tankı (ön asidifikasyon/tamponlama) koymak gibi bir ilave tedbir ile proses performansı oldukça arttırılabilmektedir. Bu tank hidrolik yük, organik yük ve sıcaklık değişimlerini dengelemek ve aynı zamanda biriktirme ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. Bu ön tankın maliyeti, asıl reaktördeki emniyet, stabilite ve verim artışıyla birlikte kısa sürede karşılanabilmektedir.

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerin bir diğer avantajı mevsimlik üretilen atıklara son derece uygun olmasıdır. Beslenme ve işletim olmayan devrelerden sonra reaktörler tekrar kolaylıkla devreye alınabilir. Örneğin, mısır nişastasası atıksuyunun arıtıldığı yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörün tekrar başarıyla işletmeye alındığı görülmüştür (Lettinga v.d., 1983). Bu işletmeye ara verme esnasında ise reaktörün sıcaklığını kontrol etmeye ve beslemeye ihtiyaç duyulmamaktadır.

Çamur yataklı reaktörlerde iyi bir işletme verimi temin etmek için; atıksuyun tabandan üniform dağılımı, biyogazın çamur ve sıvıdan etkili bir şekilde ayrımı ve kolay çökebilir anaerobik çamur elde edilmesi gerekmektedir. Tipik bir yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör iki kısımdan meydana gelir; biyolojik reaksiyon kısmı ve çökeltme kısmı. Reaksiyon kısmında organik maddeler oldukça aktif olan bir çamur yataktan geçerken metan ve karbondioksit çevrilir. Çökeltim kısmında ise gaz ve sıvı akımıyla yükselen çamurun çökelti olarak reaktör içine dönmesi temin edilir. Arıtılacak



atıksu reaktör tabanından üniform olarak girmekte ve organik maddelerin biyogaz haline dönüştürüldüğü yoğun çamur örtüsünden geçerek en üstteki gaz-katı madde ayırıcısına gelmektedir. Burada katı maddeler çöktürülerek çürütme bölümüne geri dönerken gaz ise katı ve sıvıdan ayrılmaktadır. Biyokütle ise gaz kabarcıkları tarafından askıda halde tutulur. Bakteri gelişmesi floklar halinde yukarı doğru akan atıksu akımı içinde meydana gelir. Bu çamur yatağı kendi ağırlığı ve reaktörün üst kısmındaki perdeler yardımıyla reaktör içerisinde alıkonulur.

Yukarıakışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde yüksek oranda çamur konsantrasyonu temin etmek için gerekli iki temel tasarım parametresinden birincisi, reaktör içinde geliştirilmiş çökeltme özelliklerine sahip çamurun bulundurulmasıdır. Çamur çökeltme karakteristiklerinin gelişmesi için çamur yatağında mekanik karıştırmanın minimize edilmesi veya kaldırılması gerekir. Yataktaki çamur konsantrasyonu yaklaşık 40-80 g UAKM/L olmalıdır. İkinci önemli tasarım parametresi ise reaktörün üst kısmına gaz-sıvı ayırımı yapan sistemin yerleştirilmesidir. Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde biyokütle floküle taneler veya yarıçapı 3-4 mm. civarında olan granüller olarak bulunur. Reaktör sistemi, giriş suyunun yukarı akımı ve gaz kabarcıklarının yükselmesiyle karıştırılır.

Çamur yataklı reaktörde, uygun işletme parametreleri kullanıldığında farklı tipteki bakterilerin birleşimiyle küresel şekilli granül adı verilen biyoküteller geliştirilebilmektedir. Bu kütlelerin çökeltme hızları kütlelerin boyutuna bağlı olarak, genellikle 20-90 m/sa aralığında değişmektedir. Yükselen biyogaz ise granülleri akışkan halde koruyabilmektedir.

Gaz-Sıvı-Katı Ayırıcı : Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörün üst kısmı çamur örtüsünden ayrılan partiküllerin yıkanıp kaçışını en aza indirmek için gaz-katı ayırıcı ile teçhiz edilmektedir. Bu ayırıcının maksatları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Lettinga v.d.,1983).

- a- Biyogazı yüzen partiküllerden ve sıvıdan ayırmak,
- b- Çamur yumaklaşması için elverişli şartlar meydana getirmek ,
- c- Herhangi bir mekanik alet kullanmaksızın çamurun çürütücü bölüme geri dönmesine imkan vermektir.



Gaz toplayıcılardaki gaz-sıvı ara yüzey alanı çamur parçacıklarından ve sıvıdan gazın ayrılmasını sağlayacak yeterli büyüklükte, ancak köpük tabakasının oluşumunu önlemek için de yeterli küçüklükte olmalıdır. Çamurun geri dönüşüne izin verebilecek çöktürücü duvarının eğimi 50-60° olmalıdır. Gazın toplandığı yüzey alanı, yüzey yükü 2-3 m/sa.' 1 geçmeyecek şekilde hesaplanmalıdır.

Yüksek yükleme hızlarında çamurun önemli bir kısmı yükselen gaz kabarcıklarına karışmış veya artan yüzme eğiliminden dolayı çamur yatağının üstündeki sıvı tabakasına yayılmış olabilmektedir. Gaz-katı ayırıcısı olmadığı zaman bu yüzen ve yayılan çamur partikülleri dışarı kaçabilmektedir.

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörde biyokütlenin yıkanmasına sebep olabilecek hidrolik bekleme süreleri aşılmadığı müddetçe yüksek bir arıtma verimi elde etmek mümkün olmaktadır. Ayrıca, bu reaktör türünde uygun işletme koşullarında yüksek konsantrasyonlardaki askıda katı madde içeren atıksuların arıtılması da başarıyla uygulanmaktadır.

Eğer reaktörde iyi yumaklaşmış veya granül hale gelmiş çamur oluşturulabilirse çok düşük hidrolik bekleme sürelerinde dahi iyi bir arıtma verimi elde edilebilmektedir. Bu düşük hidrolik bekleme süreleri ise yüksek organik yüklemelerin uygulanabilmesini mümkün kılmaktadır. Ancak, hidrolik bekleme süresinin düşük olması hacmi ve dolayısıyla yatırım maliyetini azaltmasına karşın organik yüklemenin artmasıyla reaktörde uçucu yağ asidi birikimi olacağı ve/veya verimin düşebileceği göz önünde tutulmalıdır. Bu yüzden KOİ giderme verimi ve çıkış kalitesi de göz önüne alınarak en uygun bekletme süresine karar vermek gereklidir. Kompleks atıksuların yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde çürütülmesinde hidroliz adımı engelleyici olabileceğinden atıksuların, hidroliz adımının tamamlanmasını sağlayacak yeterli bir süre reaktörde kalmaları gerekmektedir. Çok konsantre atıklar için ise sınırlayıcı parametre hidrolik bekletme süresinden ziyade organik yükleme değeridir.

Düşük sıcaklıklarda anaerobik çamurun aktivitesi düştüğünden yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler bu sıcaklıklarda daha düşük yüklerle tasarlanmalıdır. Tropik iklime sahip bölgelerde ise anaerobik arıtma için çevre sıcaklığı yeterli olmakta ve bu



nedenle sıcaklığın otomatik kontrolü ve hatta ısı yalıtımı ihtiyacı dahi olmamaktadır. Bu durum maliyeti önemli ölçüde düşüreceğinden sıcak ve ılıman iklimlere sahip bölgelerde anaerobik reaktör kullanımı uygun olmaktadır. Ayrıca ılıman iklimler için yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör uygulamalarında metan üretimi pozitif kazanç sağlayabilmektedir.

Çözünmüş atıkların arıtılmasında tek kademeli yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör uygulaması ekonomik sebeplerin yanında proses stabilitesi ve performansında da iyi sonuçlar vermektedir. Bu reaktörlere çok yüksek organik yükler uygulanabilmektedir. Yüksek çökelebilmeye özelliğine sahip granül çamur bu atıklarla daha iyi gelişmektedir. Besin işleme endüstrisinde olduğu gibi çözünebilir karbonhidrat ihtiva eden atıksularda hidroliz-asidifikasyon kademesi metanojen kademedeki hızlı işlemektedir. Bu durumda ise hidrojen ve asidik son ürünlerin (asetik, propiyonik, bütirik asit ve etanol) birikiminden dolayı pH düşmekte ve metanojenik fazın engellenmesi durumu ortaya çıkmaktadır. Bu tür atıklarda asidifikasyon ve metan oluşumu kademelerinin ayrı olarak işletildiği iki kademeli arıtma yöntemlerinin uygulanması yoluna da gidilmiş ve bu sayede bazı önemli faydaların elde edilebildiği belirlenmiştir.





### 3.3. YUKARIAKIŞLI ANAEROBİK ÇAMUR YATAKLI REAKTÖRLERİN DEVREYE ALINMASI

Reaktörün devreye alınması aşılama işlemiyle başlayıp yeterli miktarda, iyi çökebilen ve atıksuya uyum sağlamış çamurun elde edilmesiyle son bulur. Bu aşamada oranik yükleme kademe kademe arttırılır. Anaerobik reaktör sisteminin devreye alınmasının uzun sürmesi anaerobik arıtmanın en mahzurlu yönü olarak düşünülmektedir. Gerçekten de metanojenik mikroorganizmaların çok yavaş çoğalması nedeniyle ilk defa devreye alma kademesinde uzun bir süre harcanması gerekmektedir. Bu durum hiç bir aşu çamuru kullanılmaması veya atıksuya adapte edilmemiş aşu çamuru kullanılması halinde doğrudur. Ancak, sistem bir kere devreye alındığında zaman problemi tamamıyla ortadan kalkacaktır. Çünkü anaerobik çamur istenildiği zaman besleme yapmaksızın çok uzun süreler aktivitesini kaybetmeden korunulabilecektir. Ayrıca, oluşan fazla anaerobik çamur bir başka tesisin devreye alınmasında kullanılabilir.

Eğer artımda metanojenik aktivitesi çok yüksek bir aşu çamuru kullanılırsa 1 aydan daha kısa sürede devreye alma tamamlanabilir. Aksi takdirde bu süre 6 ayı geçmektedir. Termofilik şartlarda çamur oluşumu düşük (metan gazı üretimi yüksek) olduğu için devreye alma 1 yıl kadar da sürebilmektedir. Bu nedenle civardaki bir ana reaktörden aşu çamuru teminine çalışılmalıdır. Konulacak çamur miktarı en az 10 kg UKM/m<sup>3</sup> ve en fazla reaktör hacminin %60'ı kadardır. Reaktörün devreye alınması sırasında küçük çamur parçalarının reaktörü terk etmesi sağlanarak daha iyi özellekte bir çamur elde edilebilir. Müsaade edilecek çamur çıkışı :

$$\text{Çıkış suyu çamur kons. (g/L)} = \text{HRT} / \text{SRT} * X \quad (3.1)$$

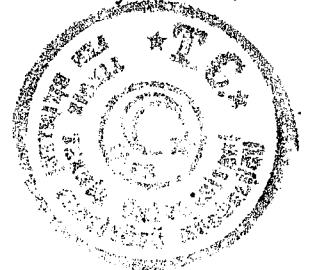
denklemlerle hesaplanabilir. Burada,

HRT : Hidrolik bekletme süresi (gün)

X : Reaktördeki çamur konsantrasyonu (g/L)

SRT : Çamur bekletme süresidir.(gün)

Eğer granüler çamur veya anaerobik kanalizasyon çamuru gibi metanojenik aktivitesi yüksek çamurlar ile çalışılıyorsa yükleme oranı başlangıçta 3 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün değeri gibi yüksek bir miktar olabilir ve bu şartlarda reaktörün devreye alınması kolaylıkla



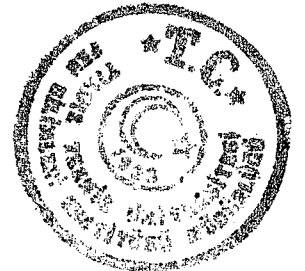
gerçekleştirilebilir. Aktivitesi düşük çamur ile reaktörde tasarlanan yükleme değerlerine ulaşabilmek için ise devreye alma çalışmaları iki kademe gerçekleştirilebilir.

i) Birinci Kademe : Devreye almada ilk adım oldukça önemlidir. Bu kademe ilgilenilecek nokta reaktörün ne kadar iyi çalıştığı yada hangi yükleme değerine ulaşıldığı değil bir verim temin edip edemediğidir. Çünkü bu devrede çevre şartlarına çok hassas olan metan bakterilerinin büyümesi gerçekleşir.

Öncelikle atıksuyun KOİ' sine bakılmalıdır. Başlangıçta verilecek giriş KOİ' si 5000 mg/L'den küçük olmalıdır. Bunun temini için seyreltme yada geri devir yapılabilir. Yalnız geri devir yapılacaksa reaksiyonu engelleyen bileşenlerin konsantrasyonunun artıp artmadığı kontrol edilmelidir. Minimum yükleme oranı emniyet açısından 0.2 kg KOİ/m<sup>3</sup> olarak seçilebilir. Eğer giriş KOİ' si düşükse bekletme süresi minimum 24 saat olarak seçilmelidir. Bu yükleme ile bir süre işletme yapıldıktan sonra biyogaz üretimi başlayıp, çıkıştaki uçucu yağ asidi ve KOİ konsantrasyonları azalacaktır. Eğer bu sürede gaz üretimi 0.1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.gün' den küçük veya çıkış uçucu yağ asitleri konsantrasyonu 3 meq/L değerinden büyük olursa derhal besleme akımı kesilmeli ve gaz üretiminin artması için besleme yapılmaksızın veya geri çevrim yapılarak birkaç gün beklenmelidir. Bu verilen sınır değerlerle reaktörün belirli bir süre kararlı durumda işletilmesi sağlanabilirse artık ikinci kademeye geçilebilir ve yükleme oranı daha yüksek bir değere çıkarılabilir.

ii) İkinci Kademe : Uçucu yağ asitleri konsantrasyonunun 3 meq/L değerinden düşük olması durumunda organik yükleme değeri artırılabilir. Eğer bu artıştan sonra uçucu yağ asidi değeri 15 meq/L'ye kadar yükselirse sodyumbikarbonat ilavesiyle pH değerinin 6.5' un üstünde tutulması temin edilmeli ve bir geri adım gidilerek yükleme oranı %30 kadar azaltılmalıdır. Reaktörün işletilmesine devam ederek kararlı durum elde edildikten sonra yine yukarıdaki sınır değerlerin teminine çalışılarak organik yükleme oranı %20' lik adımlarla artırılarak tasarlanan yükleme oranına ulaşılabilir.

Devreye alma işlemi gerçekleştirildikten sonra reaktördeki aktif çamurun kalite ve miktarı kontrol edilerek işletmenin devamı istenilen şekilde sürdürülebilir. Dikkatli bir çalışmayla anaerobik reaktörler en geç 1 ila 3 ay gibi sürelerde tam olarak devreye alınabilir. Tablo 3.1' de örnek olması açısından literatürde yer alan bazı anaerobik reaktörlerin işletmeye alınmasıyla ilgili değerler verilmektedir.





Tablo 3.1. Devreye alma ile ilgili literatür verileri.

Metod	Gözlemler	İlk yükleme (kgKOİ/kgUAKM -gün)	Devreye alma za- manı (Ay)	Reaktör tipi	Kaynak
UYA besleme, Aşı: evsel çamur çürütücü	40 gün sonra granüleşme	0.05-0.1	2-(4)	YAÇ	1
Metanojen büyümesi için metanol ekleme			1	Çamur yatağı	2
UYA besleme, Aşı: akışkan yataklı reaktör	Uzun süre çamur depolanabiliyor (1-2 yıl)	0.2-0.4	2-3	YAÇ	3
Aşı:evsel çamur çürütücü	Aşırı yüklemde sürekli aşılama	1-1.5kgUAKM /m <sup>3</sup> -gün		Geri çev- rimli flok	4
Biyokütle kaybını azaltmak için filtre				YAÇ	5
Aşı:anaerobik reaktör	1 ay sonra yük arttırabilme	1 kgKOİ/ m <sup>3</sup> -G	1-2	Geri çev- rimli yatak	6
Aşı:Evsel çamur çürütücü	Aşısız gaz üretimi temin edilemedi		1.5	Sabit yatak	7
Aşı:Evsel çamur çürütücü	Granül oluşumu için yük arttırılmalı	0.05-0.1	2-3	YAÇ	8
	Sıcaklık>35oC Film oluşumu için karbonhidrat	<0.1 <2 kgKOİ/m <sup>3</sup> -G	2-3		9
Aşı:Evsel çamur çürütücü	İyi flokülasyon için polimer ilavesi		4	Geri çev- rimli flok	10

1- de Zeeuw ve Lettinga (1980)

2- Tait ve Friedman (1980)

3- Lettinga v.d.(1979)

4- van den Berg ve Lentz(1980)

5- Eggers (1981)

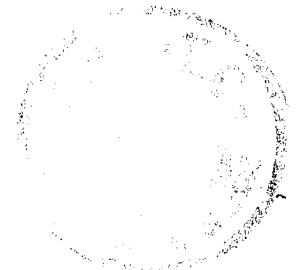
6- Martensson ve Frostell(1982)

7- Chian ve De Walle(1977)

8- Pol v.d. (1982)

9- Salkinoja-Salonen v.d.(1982)

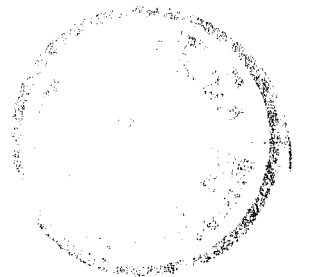
10- Schlegel ve Kalbskopf (1981)



Flok (yumak) halinde aşı çamuru kullanılan reaktörlerde atıksu akışı ve üretilen gaz kabarcıkları nedeniyle yukarı hareket eden bakteriler, işletmeye alma safhasında çamur yatağın genişlemesine neden olmaktadır. Böylece ayrıştırılması zaman alan askıdaki maddeler ve dağılmış şekilde büyüyen biyokütle çok geçmeden reaktörden yıkanmaktadır. Reaktörün alt kısmında ağır bakteriyel topluluk birikirken yayılmış ve hafif bakteriler ise reaktörden kaçmaktadır. Bu nedenle anaerobik reaktörlerde ağırlığı fazla olan granül oluşturarak arıtma kapasitesi artırılabilir. Son yıllarda, granülasyon adı verilen bu işlemle ilgili çalışmalar yapılarak reaktör kapasitesi ve veriminin artırılması sağlanmıştır.

İyi bir granülasyonun metanojenik bakteriler için uygun olan sıcaklık aralığında meydana geldiği ifade edilmektedir (de Zeeuw, 1984). Ayrıca, termofilik sıcaklık aralıkları da granül oluşumu için uygun olmaktadır.

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörün granülasyonu sıcaklık ve pH uygun aralıklarda sabit iken; organik yükleme, çamur yükü , yukarı akış hızı ve aşı çamurunun tip ve miktarı gibi proses parametrelerine bağlı olmaktadır.



## BÖLÜM 4

### ANAEROBİK ARITMA VERİMİNE ETKİ EDEN BAŞLICA FAKTÖRLER

Anaerobik arıtmada çevresel birçok faktör mikroorganizmaların büyüme hızı, besi maddesi kullanma hızı, gaz üretimi gibi özelliklerine etki ederek proses verimini etkilemektedir. Bunların başlıcaları aşağıda sıralanmaktadır:

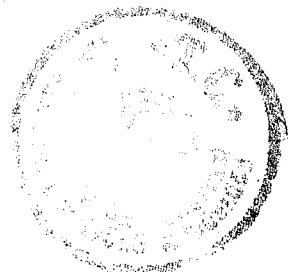
#### 4.1 SICAKLIK VE ETKİLERİ

Sıcaklık bu faktörlerin en önemlilerindedir. Anaerobik bakteri türleri sıcaklığa bağlı olarak 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlar:

- 1- 0 - 25°C aralığında yaşayan fizikofilik bakteriler,
- 2- 25 - 45°C aralığında faaliyet gösteren mezofilik bakteriler,
- 3- 45 - 80°C aralığında faaliyet gösteren termofilik bakteriler.

Bu aralıkların üst sınırları çoğalma hızının, ölme hızından az olduğu sıcaklıkla belirlenir. Bu, herhangi bir grup bakterinin diğer bir grubun sıcaklığında bir miktar da olsa faaliyet gösterebildiğini belirtir. Mezofilik şartlarda çoğaltılmış bakteriler 10-15°C sıcaklıklarda kullanıldığında aktivitesinin %5-10'u devam etmektedir (Van den Berg, 1977).

Sıcaklığın anaerobik arıtmadaki diğer çok önemli bir özelliği, 15°C'nin altındaki sıcaklıklarda anaerobik bakterilerin aktivitesini tam olarak yitirmeden uzun süreler saklanabilmesidir. Bu anaerobik arıtmayı mevsimlik çalışan sanayi atıksularının arıtımı için çok uygun bir hale getirmektedir.



Anaerobik arıtmada geçmiş yıllarda genellikle mezofilik sıcaklık aralığı kullanılmıştır. Son yıllarda ise bazı üstünlüklerinden dolayı termofilik bakteriler üzerinde de çalışmalar yapılarak büyük ölçekli termofilik arıtma tesisleri kurulmuştur.

Enzimatik bakteri reaksiyonlarına bağlı olarak anaerobik arıtma verimi, sıcaklığın bir fonksiyonudur. Teoride, anaerobik bakteri faaliyeti sonucu oluşan ısı ortam sıcaklığının mezofilik şartlarda tutulması için yeterlidir. Fakat çıkan ısı enerjisi daha soğuk bir atıksu beslemesini yada mevsimlik ısı değişimlerini karşılayabilecek miktarda olmadığı için anaerobik reaktörlerin dışarıdan ısıtılması gerekmektedir. Reaktör sıcaklığındaki birkaç derecelik de olsa ani değişimler mikrobiyal metabolizmanın bozulmasına neden olur ve eski şartlara dönülebilmesi için günlerce süre gerekli olabilir. Reaktör içinde sabit ve üniform bir sıcaklık reaktör içeriğinin mekanik yolla veya çıkan biyogazın reaktör içine pompalanarak karıştırılması suretiyle elde edilebilir.

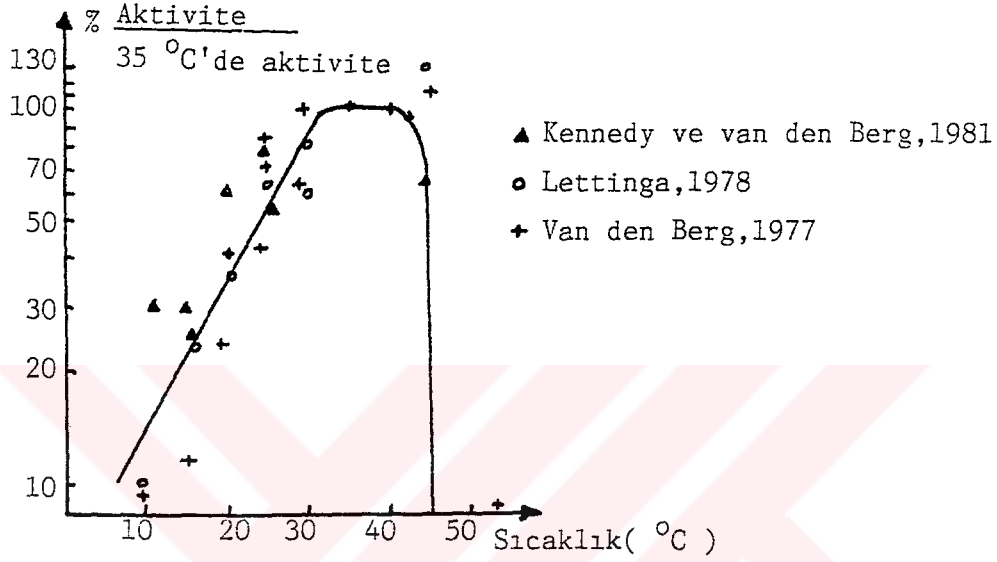
Mezofilik şartlarda çalışan bir reaktörün sıcaklığı sınır değer olan 45°C' ye yükseltirirse mikrobiyal aktivitenin devam ettiği ancak yüksek içsel solunum hızından dolayı metan bakterilerinin dönüşüm katsayısının (Y) sıfıra yaklaştığı böylece bu sıcaklıkta işletme şartlarının bozulduğu gözlenmiştir (Van den Berg,1977).

İşletmede herhangi bir olumsuzluk gözlenmemesi için sıcaklık değişimlerinin günde 1°C olacak şekilde değiştirilmesi gereklidir. Böylece mikroorganizmalar metabolik faaliyetleri bozulmadan yeni şartlara uyum sağlayacaktır. Spesifik büyüme hızı, içsel solunum ve dönüşüm katsayısı sıcaklıkla değişmekle beraber, metan üretim hızı veya besi maddesi giderme hızının sıcaklıkla değişimi öncelikli önem taşımaktadır. Şekil 4.1 ve 4.2'de anaerobik atıksu arıtımında sıcaklık değişiminin metan üretim hızı üzerindeki etkisi görülmektedir.

Termofilik sıcaklıklarda daha fazla sabit bir metan üretim hızı elde edilebilmektedir. Kullanılan besi maddesine bağlı olarak, gaz üretim hızı mezofilik arıtmaya göre % 25 ila 50 kadar fazla olabilmektedir. Termofililik arıtmadaki bir problem mezofilik arıtmaya göre %50 daha düşük dönüşüm (yield) elde edilebilmesidir. Bu nedenle devreye alma daha uzun sürmekte ve prosesin yüklemedeki değişimlere, toksik maddelere yada besi maddesi değişimlerine uyumu daha yavaş olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda bakteri hücreleri hızla yok olmakta ve sonuç olarak ancak eksponansiyel büyüme şartlarında mevcut olabilmektedir (Zinder ve Mah,1979). Diğer bir ana problem de termofilik sıcaklıklarda ancak sınırlı sayıda bakteri türünün faaliyet

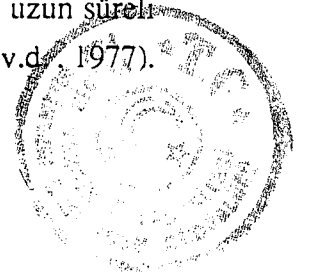


gösterebilmesidir. Eğer bir iki türün faaliyetini etkileyecek değişiklikler meydana gelirse bu reaktör performansını oldukça etkileyecektir.

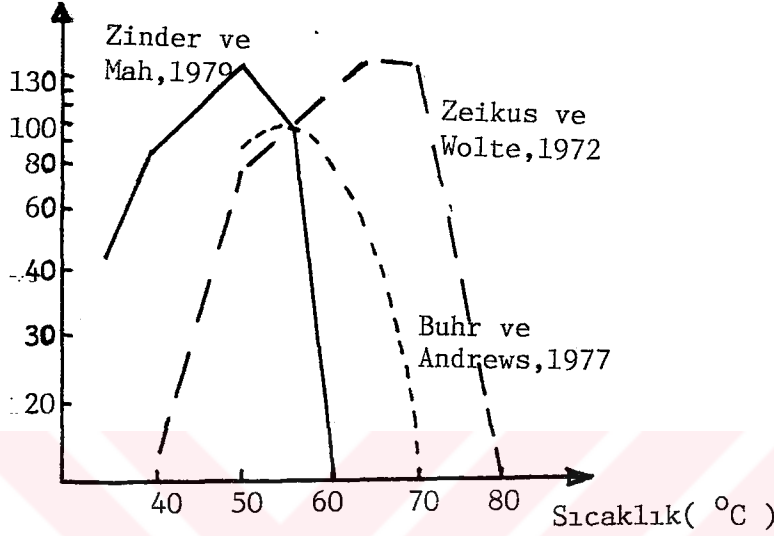


Şekil 4.1. Mezofilik arıtmada sıcaklığın etkisi.

Ani sıcaklık değişimleri, bakteriyel aktivitenin geçici olarak durmasına neden olur (Speece ve Kem, 1970). Fakat sıcaklık değişimi esnasında organik yükleme oranı yüksekse ve daha düşük bir değere indirilmeden işletmeye devam edilirse bakteri faaliyetlerinde tümüyle bozulmalar meydana gelir. Jewell ve Morris (1982) genişletilmiş çamur yataklı reaktörde sıcaklık şoklarının etkisini araştırarak çok düşük yüklemelerde prosesin sıcaklık değişimine çok fazla hassas olmadığını belirlemişlerdir. Buhr ve Andrews (1977) sıcaklık etkisini incelemek üzere çamur çürütme reaktörlerinde dinamik bir proses modeli hazırlayarak en az uçucu organik asit konsantrasyonu veren sıcaklığın azalan bekleme süresiyle arttığını göstermiştir. Yani düşük bekleme sürelerinde (3.5 gün), en uygun sıcaklık yüksek olan 50°C civarındakidir. Daha sonraki araştırmalar da bu sonucu doğrulamaktadır. 3 gün bekleme süreli sığır dışkılarını arıtan bir termofilik (55°C) reaktörde daha uzun süreli bekleme sürelerine göre (6.9 ve 12gün) daha fazla metan gazı sağlanmıştır (Varel v.d., 1977).



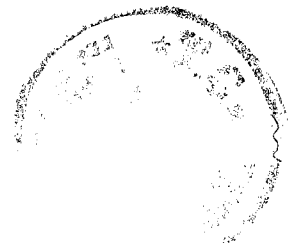
Bu çalışmalarda, reaktörün test edilen sıcaklığa alışması için belirli bir süre beklenmiştir.



Şekil 4.2. Termofilik artımda sıcaklığın etkisi.

Termofilik artımda reaktör sıcaklığı ya istenilen sıcaklığa doğrudan yükseltilir ve bu sıcaklıkta düşük yüklemelerle çalışılarak sistemin uyumu sağlanır yada mezofilik sıcaklıktaki reaktörler haftada birkaç derecelik sıcaklık artışıyla termofilik şartlara getirilir. Sıcaklık yavaş yavaş yükseltilirken 43°C'de geri dönüşümü mümkün olabilen gaz üretimi düşüşü gözlenir ve 45°C'de en fazla gaz üretimi elde edilir (Pfeffer, 1974). Eğer reaktör organik yüklemesi maksimum değeri veya minimum bekleme süresi kullanılmıyorsa sıcaklıktaki ani değişimler proste zararlı bir etki meydana getirmeyecektir. Mezofilik bir reaktördeki bakteri topluluğunun %9'u, 50°C'de ve %1'i de 60°C'de çoğalmasını devam ettirebilmektedir (Chen, 1983).

Reaktör sıcaklığının aniden düşmesi sonucu meydana gelecek etkiler hakkında çok az bilgi mevcuttur. Buhr ve Andrews'in (1977) çalışması 50°C'den 40°C'ye düşüşte 2-3 günlük proses bozulması olduğunu göstermektedir.



Termofilik sıcaklıklarda, 60°C' den daha yüksek sıcaklıklarda yüksek uçucu yağ asidi (UYA) konsantrasyonları bulunmuştur (Varel v.d. , 1977). 65°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda detaylı bilgi mevcut değildir. Bir araştırma sonucunda 50 günlük sürede 65°C' de çalışan bir reaktörde verim alınamamıştır. Bunun muhtemel nedeni anaerobik arıtmanın kompleks reaksiyon basamaklarının sağlanabilmesi için madde alışverişinde bulunabilen çok sayıda bakteri grubuna ihtiyaç duyulması fakat bu kadar yüksek sıcaklıklarda ise ancak birkaç bakteri türünün faaliyet gösterebilmesidir.

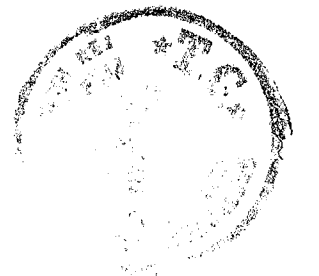
Lettinga v.d. (1980), 15 gün bekleme süreli anaerobik reaktörde sıcaklığın günlük olarak 30°C 'den 20°C 'ye ve tekrar 25°C' ye değiştirilmesi durumunda önemli bir değişiklik kaydetmediler. Ancak, 20°C 'den 40°C 'ye değişimde reaktörün karalılığının bozulduğu ve 17 gün sonra geri kazanılabildiği görülmüştür.

Anaerobik çamur çürütücülerde yapılan bir çalışmada (4-11 gün bekleme süreli) küçük sıcaklık değişimlerinin (örneğin, 3 günde 3°C düşüş; 2 saat için 10°C düşüş) sadece kısa süreli geçici karaksızlıklar meydana getirdiği saptanmıştır. Diğer taraftan sıcaklığın 10 saatlik bir sürede 35°C 'den 18°C 'ye düşürülmesi sonucunda gaz üretiminin kararlı duruma dönebilmesi için 4 gün geçmesi gerekmiştir.

Peck v.d. (1986), laboratuvar ölçekli 6 adet mezofilik sıcaklıklarda (35°C) çalıştırılan reaktörlerde ısıtıcı arızalarından dolayı meydana gelebilecek sıcaklık düşüşlerinin etkisini belirlemek amacıyla 10 ve 25 günlük bekletme sürelerinde bir seri deney yapmıştır. Bu deneyler sonucunda reaktör sıcaklığını günlük olarak 8°C düşürmek 10 ve 25 günlük bekletme süresinde biyogaz üretiminde azalmaya neden olurken gazın metan içeriğinin her iki bekletme süresinde de arttığı gözlenmiştir. Metan miktarının bu artışı, karbondioksit'in düşük sıcaklıklarda yüksek çözünürlüğüyle açıklanabilir.

Sıcaklık azalışı 10 günlük bekletme süreli reaktörde pH 'yı düşürürken 25 günlük bekletme süresinde bir etki görülmemiştir. Bu sonuç, pH' nın reaktör stabilitesi için sadece kaba bir indikatör olduğunu göstermiştir. pH değişimi kısmen uçucu yağ asidi ve çözünmüş karbondioksit'in artışından kaynaklanmaktadır.

Sıcaklığın normal mezofilik koşullara bir günde yükseltilmesi, birkaç gün süren yükseltmelere göre çok daha kısa sürede reaktörün geri kazanılarak kararlı duruma gelmesini sağlamıştır. 10 günlük bekletme süresinde 6 gün içinde, 25 günlük bekletme





süresinde 8 gün içinde geri kazanım sağlanmıştır. Tam stabiliteye ulaşımdaki gecikme reaktörde daha önceden biriken maddelerin tüketim süresinden kaynaklanmaktadır.

Sıcaklığın yavaşça arttırılması durumunda 20°C ye kadar önemli bir değişiklik gözlenmemiş uçucu yağ asitlerinin birikimi devam ederken sadece çok az miktarda biyogaz üretilmiştir. Bu da daha çok karbondioksitin serbest hale gelmesinden kaynaklanmakta ve çok az bir kısmı mikrobiyal faaliyet sonucu oluşmaktadır. Reaktör sıcaklığı 20°C' nin üzerine çıktığında biriken besi maddeleri parçalanarak biyogaz üretimi başlamıştır. pH artışıyla beraber uçucu yağ asitleri azalır ve sonunda tekrar stabil duruma ulaşılmıştır. Ancak 10 günlük bekleme süreli reaktörde 35°C' ye ulaşılmadan geri kazanım elde edilememiştir. Bunun nedeninin asit tüketen bakterileri engelleyen çok yüksek uçucu yağ asidi konsantrasyonu (21.nci günde 46.6 mM) olduğu tahmin edilmektedir. 25 gün bekleme süreli reaktörde tam geri kazanım 35°C' ye ulaşıldıktan 5 gün sonra elde edilirken, 10 gün bekleme süreli reaktörde 8 günden daha fazla bir zaman gerekli olmuştur.

#### 4.2. pH VE ETKİLERİ

pH bütün mikrobiyal faaliyetler için önemli bir parametredir. Anaerobik bakterilerin çoğunluğu (metanojenler hariç) pH, 5.0-8.5 aralığında faaliyet gösterebilmekle beraber maksimum çoğalma aralığı 6.0-7.0 arasındadır. Metan üretimi en fazla pH, 6.5-7.5 aralığında meydana gelebilir. Bu sınırların dışında da metan üretimi gerçekleşebilmekle beraber pH'nın 6 'dan küçük olması durumunda gaz üretimi çok fazla azalmaktadır. pH'nın metan üretimine etkisi uçucu yağ asidi konsantrasyonuna bağlıdır. Çünkü uçucu yağ asitleri iyonize olmamış formlarda toksik etki meydana getirmektedir. Azalan pH ile bu formlar artacağından pH düştükçe toksik etki derecesi artmaktadır. anaerobik arıtmada pH şokunun etkisi; şokun süresine, pH' nın düşüklüğüne, uçucu yağ asidi konsantrasyonuna ve uçucu yağ asidinin kompozisyonuna bağlıdır.

Anaerobik reaktör içeriğinin asidite veya alkalitesi asit-baz sistemin reaktör içindeki etkisine bağlıdır. Bu sistem zayıf yada kuvvetli olabilir. Asidik veya bazik bileşenler reaktöre giriş akımıyla girebilir yada ayrışma işlemleri sonucunda oluşabilir. Bir çok anaerobik reaktörde asit-baz sistemi zayıf karbonik, hidrosülfirik ve ortofosforiktir. Uçucu yağ asidi ve amonyum da bu sistem içinde yer alır. Asetik ve propiyonik asidin benzer olan iyonlaşma sabitleri, bu asitlerin zayıf asit olmasına neden olur.





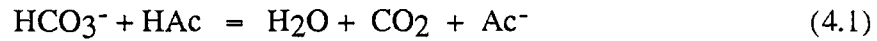
Hidrosülfirik ve ortofosforik sistemler çok düşük konsantrasyonlarda olduğundan anaerobik arıtmada çok az tamponlama kapasitesi temin eder.

Hidrolize edici organizmalar klasik çamur çürütücülerde pH, 6.5' in altında çok az aktivite gösterirken metanojenler nötral pH civarında sınırlı bir alanda faaliyet gösterebilir. Asit bakterileri de düşük pH'ları tolere edememekle beraber bir araştırmada Peptostreptococcus ve Bacteroides türlerinin pH, 6.2-9.1 aralığına toleranslı olduğu bulunmuştur (Iannotti, 1984).

Anaerobik sindirim safhalarından uçucu organik asit oluşumu suda çözünebilir organik maddelerin asitojen bakteri tarafından fermente edilmesi sonucu meydana gelir. Asitojen bakterileri pH' ya karşı aşırı duyarlı değildirler. Fermentatif bakterilerin uçucu organik asit üretimi, bunları indirgeyen asetojen ile metanojen bakterilerden daha hızlıdır. Böylece reaktörde uçucu asit artışı olur ve pH' ya karşı çok duyarlı olan metanojenler engellenirler. Bu durum sıcaklık değişimlerinden, toksik madde girişinden veya organik ve hidrolik karakterlerdeki değişimlerden dolayı sistem denge dışında olduğu zaman meydana gelir (Parkin ve Owen, 1986).

Ayrıca sistem normal işletme şartlarında olsa dahi reaktör sisteminde pH düşmesini tamponlayıcı yeterli miktarda madde bulunmalıdır. Tamponlayıcı madde olarak genellikle kireç, sodyum bikarbonat, sodyum ve potasyum hidroksit ve amonyak kullanılmaktadır.

Tamponlama kapasitesi genellikle alkalinite olarak ölçülmektedir. Yeterli alkalinitenin sağlanmasıyla, pH düşmesinden meydana gelecek hata önlenmiş olur. Genellikle bikarbonat alkanitesinin 2500-3000 mgCO<sub>3</sub>/L olması istenir (Anderson ve Yang, 1992). Böylece ortamda uçucu yağ asiti konsantrasyonu arttığı zaman bikarbonat alkalinitesi bu asidi,



şekline notralize eder. Burada;

HAc : İyonize olmayan asetik asit,

Ac<sup>-</sup> : Asetat iyonudur.



Anaerobik ayrışmada genellikle kabul edilen pH aralığı 6.5 - 7.6 dır. Eğer pH, 6' nın altına düşerse arıtma sistemi dengesizliğe uğrar. pH, 5' e kadar düştüğünde iyileştirme için 12 saat, başka bir araştırmacı da 24 saat gibi uzun bir süre gerektiğini tespit edilmiştir. Şayet bu düşük şartlar 3 gün devam ederse sistemi geri kazanma uzun süre alır veya bazı hallerde geri kazanmak mümkün dahi olmayabilir. Bu tip pH düşmelerinde genellikle besi maddesi ilavesi, sistem geri kazanılana kadar durdurulur (Moosbrugger v.d., 1993).

Metan bakterileri en iyi pH= 6.0-8.0 aralığında faaliyet gösterebilir. anaerobik arıtmada metan üretimi reaksiyonu sınırlayıcı basamak olduğundan pH=6' dan büyük tutulmalıdır. Colleran v.d., (1982)' de süt sanayi atıklarını arıtan bir sabit film yataklı anaerobik reaktör tipiyle yaptıkları çalışmada bu reaktörün pH değişimine daha az hassas olduğunu belirlemiştir. Besleme girişinde pH=5.8-10.2 arasında değişmesine rağmen çıkış pH'sı 7.2-7.3 olarak sabit kalmıştır.

Bir çok sanayi atıksuyu bir baz ilavesi eklenmeden arıtilamayacak kadar asidiktir. Ferguson et al, 1982' de çeşitli nötralizasyon edici maddelerle çalışarak maliyet açısından en uygun kimyasalın sodyum karbonat olduğunu bulmuştur. Nötralizasyon masrafını azaltmak için geri çevrim de yapılabilir. Yalnız bu durumda prosese zararlı maddelerin durumu gözden geçirilmelidir.

Genellikle pH ile sıcaklık bağımlılığı arasında bir ilişki vardır. Bakterilerin hızla çoğaldığı sıcaklık değeri yüksekse, optimum pH değeri de yükselir. Optimum bakteri faaliyetini temin etmek için pH kontrolü yapılması gereklidir. Düşük pH değerleri metanojenik bakteriler için oldukça zarar vericidir.

Bir araştırmada pH=5.5 değerinin anaerobik filtre sisteminde metan üretimini engellediği bulunmuştur (Clarke ve Speece, 1971). Bir başka araştırmada ise yine anaerobik filltre tipi kullanılarak metanol arıtımı için en uygun pH' nın 5.5-6.0 aralığı olduğu pH' nın 4.6' ya indirilmesi durumunda metan üretiminin %50 düştüğü ve uçucu yağ asidi üretiminde ani azalma olduğu görülmüştür. Bu andan itibaren pH düzeltilmesi yapılarak sistem geri kazanılmaya çalışılmış fakat ancak 18 gün sonra asetat oluşumu gözlenmiştir. Sistemde bikarbonat değeri yükselttilerek ancak 5 gün sonra uçucu yağ asidi konsantrasyonu ölçülebilecek değere yükselmiştir (Lettinga v.d., 1979). Bu da düşük pH değerlerinin anaerobik reaksiyonları engelleyerek uçucu yağ asidi oluşumunu



durdurduğunu göstermektedir. Bu yüzden pH parametresi anaerobik arıtmayı etkileyen ana faktörlerdendir.

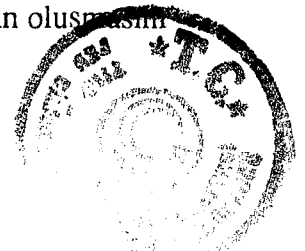
Düşük ve yüksek pH seviyelerinin engelleyici etkisinin farklı mekanizmaları olduğu belirlenmiştir. Anaerobik filtrelerle yapılan bir çalışmada yüksek bazik pH değerlerinden sonra bir lag periyot oluşmadan sistem eski haline dönebilirken, 3 günü geçen düşük pH yüklemelerinden sonra uzun süreler gerekmektedir (Duarte, 1983). Bir akışkan yataklı reaktörde birçok, 8 saat süreli geçici pH şokları yapılmıştır (Bull v.d., 1983). Araştırma esnasında giriş pH'ı 3'e kadar düşürülmüş ve 10'a kadar artırılmış fakat reaktörün stabilitesini koruduğu gözlenmiştir. Çıkış pH'sı 0.18 birim değişirken alkalinite ise %5 artmıştır. Uçucu yağ asitleri %400 artmasına rağmen metanojen bakteriler tespit edilebilecek derecede bozulmamıştır. Akışkan yataklı reaktörlerin yükek geri devir oranı ve iç tamponlama kapasitesi pH gibi zarar verici faktörlere karşı toleransı arttırmaktadır.

Anaerobik reaktörlerde pH kontrolünün en önemli bileşeni bikarbonat tampon sistemidir. Diğer bileşiklerin nötr pH civarında iyonizasyon miktarı fazla değişmemektedir. Örneğin uçucu organik asitler ve amonyak nötr pH civarında tamamıyla iyonize olur.  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  ve  $\text{H}_2\text{S}(\text{aq})$ 'nin pKa'ları anaerobik reaktördeki işletme pH'larına yakın olmasına rağmen bu bileşiklerin konsantrasyonu bikarbonata göre çok düşük olduğundan etkili bir tampon kapasitesi yoktur. reaktörün pH'ı üretilen gazdaki  $\text{CO}_2$ 'in kısmi basıncı tarafından ve dışarıdan eklenen veya reaktör içinde mevcut bulunan asidik veya bazik maddelerle kontrol edilir.

Anaerobik reaktörde asidite sudaki karbondioksitin çözünmesinden ve uçucu organik asitlerin dissosiyasyonundan ileri gelir. reaktördeki bazik bileşiklerden biri proteinli maddelerden kaynaklanan amonyaktır. Bu bilhassa C:N oranının düşük olduğu durumlarda önem taşır. Diğer bazik bileşenler inorganik tuzlar ve organik asitlerin tuzlarıdır.

#### 4.2.1. Tamponlama Kapasitesi

Reaktörün tampon kapasitesi, mevcut asitlerden (örneğin uçucu yağ asidinden) dolayı meydana gelebilecek pH değişimlerinin dengelenebilmesini ifade eder. Tampon kapasitesi artan uçucu yağ asidi konsantrasyonunu nötralize edebilecek miktarda olmalıdır. Reaktör içeriğinin tam olarak karışması da yerel asit bölgelerinin oluşmasını



engelleyecektir. Anaerobik sistemde pH' yı metan bakterilerinin aktif olduğu aralıkta tutmak çok önemlidir. Aksi takdirde asit üreten bakteriler metan bakterilerinden daha fazla aktif olacak ve reaktörde uçucu yağ asidi birikimine neden olarak problem doğuracaktır.

Tamponlama kuvvetli baz ile zayıf asidin (HAc) bir arada bulunmasıyla sağlanır. Böyle bir zayıf asidin iyonlarına ayrışması sonucunda

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \left( \frac{\text{A}^-}{\text{HA}} \right) \quad (4.2)$$

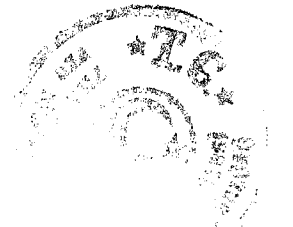
denklemini yazılabilir. Burada Ka, çözünme sabitidir. En büyük tampon kapasitesi yani kuvvetli baz veya asit ilavesiyle en az pH değişiminin meydana geldiği durum  $(\text{HA}) = (\text{A}^-)$  eşitliğiyle elde edilebilir. Sonuç olarak tampon kapasitesi sistemde mevcut tampon miktarına bağlıdır. Uçucu yağ asitlerinin pKa değeri 4.8 civarındadır. Bu asitler oldukça zayıf olmalarına rağmen metanojenler için uygun bir tampon değildir. Bu maksatla daha zayıf bir baz gereklidir. Bu da biyogazdaki CO<sub>2</sub>' nin çözünmesiyle ortaya çıkan karbonik asittir. Bu bazlar atıksuda doğal olarak bulunabilir veya reaktörün tampon kapasitesi (alkalinite) düşükse dışarıdan eklenebilir.

#### 4.2.2. Alkalinite

Alkalinite kuvvetli bazların kuvvetli asitlerden farkını gösteren bir parametredir. anaerobik reaksiyon için alkalinite pozitif yüklerin kuvvetli asitlerin anyonlarından farkı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

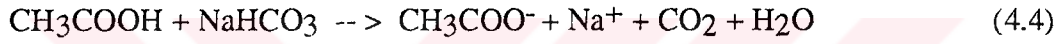
$$\text{Alk.} = (\text{NH}_4^+) + (\text{Na}^+) + 2(\text{Ca}^{++}) + \dots - (\text{HCO}_3^-) - (\text{Cl}^-) - (\text{R-COO}^-) - 2(\text{SO}_4^{--}) \quad (4.3)$$

Burada,  $(\text{R-COO}^-)$  uçucu yağ asitleri temsil etmektedir. Her ne kadar uçucu yağ asitleri zayıf asitse de, karbonik aside göre oldukça kuvvetli sayılır. Çoğu durumda uçucu yağ asidi, bikarbonat alkalinitesini etkileyen ana değişkendir. Çünkü atıksudaki diğer kuvvetli bazlar, inorganik asitler ve biyogazın karbondioksit oranı genelde sabit değerlerde olduğu için uçucu yağ asidi konsantrasyon artışı bikarbonat alkalinitesinde azalışa neden olur.

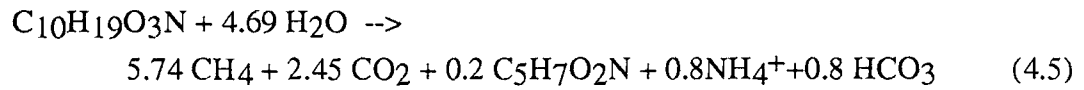


Su ve %100 CO<sub>2</sub> gazı içeren (30°C'de) kapalı bir sistemde 1 atm. basınçta çözünebilen iyonize olmamış karbonik asit (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) konsantrasyonu 0.0335 mol/L' dir. Bu konsantrasyon sadece kısmi basınca bağlıdır ve pH'dan bağımsızdır. Benzer şekilde anaerobik reaktörde çözülmüş CO<sub>2</sub> konsantrasyonu biyogazın CO<sub>2</sub> oranına bağlıdır. Bu değer %25 ila 50 arasında değişmekle beraber ortalama % 35 civarındadır. Herhangi bir zamanda biyogazın içeriği sabit kabul edilerek reaktörün pH'sının, bikarbonat konsantrasyonunun fonksiyonu olduğu söylenebilir.

Bir anaerobik sistemde pH kontrolünün en önemli yanı reaktördeki asidifikasyon sonucu uçucu yağ asidinin oluşumu ve birikimini dengelemektir. Reaktörde yeterli miktarda bikarbonat alkalinitesi mevcut ise aşağıdaki reaksiyon oluşacaktır. Örneğin asetat için ;



denklemini yazılabilir. Bikarbonat alkalinitesi anaerobik arıtmada çeşitli yollarla oluşabilir. Bunlardan en önemlisi proteinlerin amonyağa bozunması esnasında meydana gelir. Azotlu organik maddelerin (çoğunlukla proteinlerin) amonyağa parçalanması sonucu amonyum ile karbondioksit reaksiyona girerek aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi amonyumbikarbonatı oluşturur (Parkin, 1986).



1 gram biyolojik çamur (C<sub>10</sub>H<sub>19</sub>O<sub>3</sub>N) parçalandığı zaman yaklaşık olarak 200 mg/L CaCO<sub>3</sub> alkalinitesi meydana gelir.

Alkalinite oluşumu biyolojik çamurun (C<sub>10</sub>H<sub>19</sub>O<sub>3</sub>N) miktarına bağlıdır. Bikarbonat alkalinitesi sabun veya organik asit tuzları parçalandığı zaman da oluşabilir. Sabundan veya organik asitten kaynaklanan katyon, karbondioksit ve su ile bikarbonat tuzu oluşturabilir. Azot içermeyen organikler, sabunlar veya organik asit tuzları mevcut değilse alkalinite oluşmaz. Sıvı fazdaki bikarbonat konsantrasyonu ile gazdaki karbondioksit yüzdesi arasında aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi bir ilişki mevcuttur.

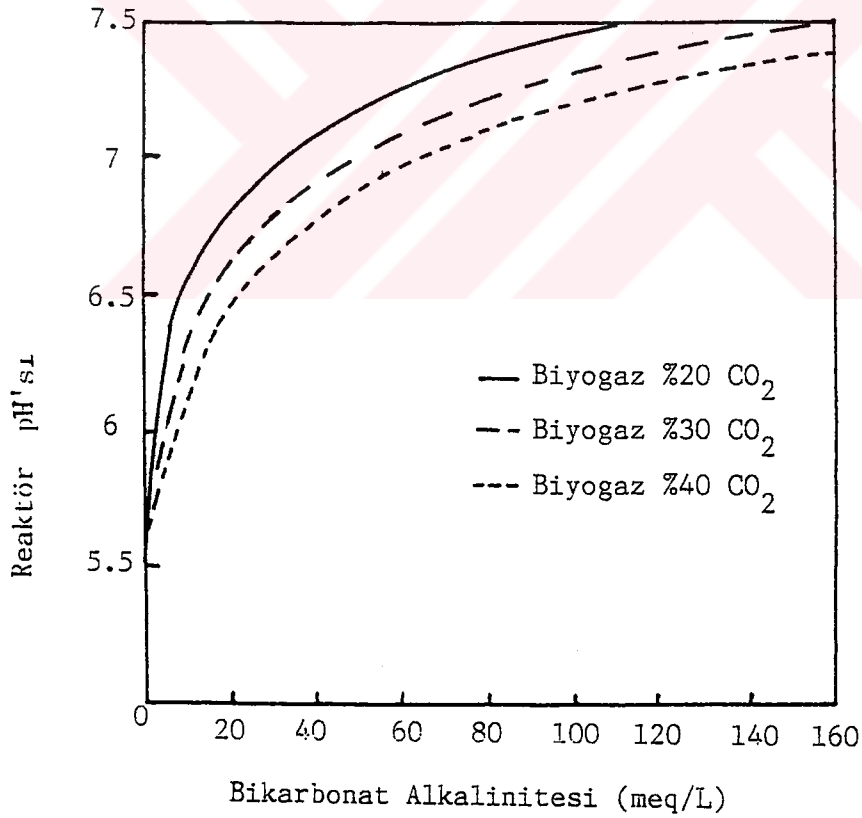


$$\text{Balk} = 6.3 \cdot 10^{-4} \cdot (P_{\text{CO}_2} / 10^{-\text{pH}}) \quad (4.6)$$

Burada, BAlk : Bikarbonat alkalitesi ( mg CaCO<sub>3</sub>/L)

P<sub>CO<sub>2</sub></sub> : Ortamda oluşan CO<sub>2</sub> kısmi basıncıdır.

Bununla ilgili grafik Şekil 4.3' de verilmiştir. Mesela pH=7, CO<sub>2</sub> yüzdesi 30 ise bikarbonat alkalitesi takriben 1900 mg/L CaCO<sub>3</sub> dir. Bu diyagramın ana özelliği optimum işletme pH' sında (6.5-7.6) alkalitenin 1000-5000 mg CaCO<sub>3</sub>/L arasında muhafaza edilmesi gerektiğini göstermesidir. Daha yüksek BAlk daha fazla uçucu asidi pH düşmeksizin nötralize edebilmek demektir.



Şekil 4.3. pH ve bikarbonat alkalitesi arasındaki bağıntı.





Kararlı koşullarda, bikarbonat alkalinitesi (BAlk), toplam alkaliniteye (TAlk) eşittir. Fakat, denge bozulduğunda uçucu yağ asidi konsantrasyonu artar, bikarbonat alkalinitesi azalır ve asetat ( $Ac^-$ ) alkalinitesiyle yer değiştirir. Bu, yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi pH düşüşüne neden olur. Örneğin, iyi işleyen bir reaktör, 50 mg HAc/L uçucu asit (UA) konsantrasyon ve 2500 mg  $CaCO_3/L$  TAlk' ye sahipken, BAlk=2465 mg/L' dir. Eğer uçucu asit 3000 mg/L' ye yükselirse BAlk 370 mg/L' ye azalacaktır. %30  $CO_2$  içeren bir gaz faz ilk durumda pH=7.1 değeri temin ederken ikinci durumda pH=6.3 olacaktır. Gerçekte uygulamada  $CO_2$  oranı değişiklik gösterdiğinden pH' yı daha fazla değiştirebilir. Buradanda bikarbonat alkalinitesi değerinin yüksek tutulması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Toplam alkalinite değeri titrasyonla ölçüldüğünden, analiz esnasında  $H^+$  ile reaksiyona giren tüm bileşikler ölçülmektedir. Bu şekilde reaksiyona giren başlıca yaygın bileşikler amonyak, aminler, sülfür ve inorganik anyonlardır. Bu nedenle toplam alkalinite değerinin önemi atıksu karakterine ve çalışma koşullarına bağlıdır.

Analizlerde genellikle toplam alkalinite ölçülür ve eğer uçucu asit bilirse bikarbonat alkalinitesi aşağıdaki denklemle hesaplanabilir (McCarty, 1964).

$$BAlk = TAlk - 0.71 (UA) \quad (4.7)$$

Burada ;      BAlk : Bikarbonat alkalinite (mg  $CaCO_3/L$ )  
                   TAlk : Toplam alkalinite (mg  $CaCO_3/L$ )  
                   UA : Uçucu asit konsantrasyonu (mg HAc/L)  
                   0.71 : Asetik asidi  $CaCO_3$ ' e dönüştürme katsayısıdır.

Toplam alkalinite anaerobik arıtma için bir ikaz sinyalidir. Dengeli olmayan şartlarda uçucu asit (UA) konsantrasyonu artar, bikarbonat alkalinitesi azalır ve sonuçta pH düşer. Reaktörde pH kontrolü çeşitli bazlar ile yapılabilir. Fakat kireç kullanıldığı zaman pH= 6.5-6.7 aralığında fazla kireç ilave etmek gerektiğinden istenmeyen miktarda  $CaCO_3$  çökmesi meydana gelerek efektif hacmi ve çamur bekletme süresini azaltacaktır. Ayrıca biyogazdaki  $CO_2$  de reaksiyona gireceğinden kısmi bir vakum problemi ortaya çıkacaktır.



Asidojen bakteri metan bakterilerine göre pH' ya daha fazla toleranslıdır. pH'nın 4.8 gibi düşük olduğu değerlerde dahi oldukça aktiftir. Bu yüzden düşük pH nedeniyle metan üretimi dururken asit bakterilerinin faaliyeti devam eder. Eğer sistemin tamponlama kapasitesi düşükse bir pH şokunda metan bakterilerinin faaliyeti duracak, asit üretimi devam ettiğinden pH daha fazla düşecek ve proses tamamıyla bozulacaktır.

#### 4.3. NÜTRİENTLER VE İZ ELEMENTLER :

Anaerobik atıksu arıtımı esnasında reaktörde çıkıştan kaçan mikroorganizma sayısından daha fazla sayıda bakteri çoğalması temin edilmelidir. Bunun için de reaktörde mikroorganizmaların hücre sentezi yapabileceği miktarda nütrient ve iz element olmalıdır. Metan bakterilerinin hücre içeriği Tablo 4.1' de verilmektedir. Görüleceği üzere bu bakterilerin azot, fosfor ve sülfür ihtiyacı orta derecededir. Demir, nikel ve kobalt ihtiyacı ise oldukça yüksektir.

Tablo 4.1 : Metan Bakterilerinin Elemental İçeriği (Scherer, 1983).

Nütrientler	Kons.(g/kg)	İz Element	Kons.(g/kg)
N	65	Fe	1.8
P	15	Ni	0.1
K	10	Co	0.075
S	10	Mo	0.06
Ca	4	Zn	0.06
Mg	3	Mn	0.02
		Cu	0.01

Verimli bir şekilde arıtma yapmak için, reaktörde yeterli miktarda nutrient olması gereklidir. Yüksek konsantrasyonda gerekli nutrientler azot ve fosfordur. Anaerobik bakteriler için kullanılan ampirik formül  $C_5H_7O_2N$  dir (Parkin, 1986). Anaerobik bakterilerin nutrient ihtiyaçları, aerobik bakterilere göre oldukça azdır. Eğer reaktörde yeterli miktarda nütrient yoksa atıksu arıtılmadan ortamı terk eder.





Anaerobik mikroorganizmaların gelişmesi için gerekli minimum azot, fosfor ve kükürt konsantrasyonları,

$$( \text{KOI/Y} ) : \text{N} : \text{P} : \text{S} = ( 50/\text{Y} ) : 5 : 1 : 1 \quad (4.8)$$

denklemden hesaplanabilir. Burada, Y : Bakteriyel dönüşüm sabitidir.

Asitleşen atıksular için (atıksuda anaerobik ayrışma için gerekli şartların oluşması halinde hidroliz ve asidojen kademenin kısa sürede başlaması halinde) bakteriyel ürün sabiti,  $Y=0.03'$  e, asitleşmeyen atıksular için ise 0.15 eşittir. Buna göre asitleşmeyen atıksuların anaerobik arıtılması için daha fazla miktarda azot, fosfor ve kükürte ihtiyaç vardır (Lettinga, 1989).

Genel bir denklem olarak makronütrienler ve iz elementlerin minimum konsantrasyonu atıksuyun ayrışabilir  $\text{KOI}'$  si ve asitleşme derecesine bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir (Van den Berg v.d.,1980),

$$\text{NÜT}_{\text{ihtiyaç}} = \text{KOI}' * Y * \text{NÜT}_{\text{bakteri}} * 1.14 \quad (4.9)$$

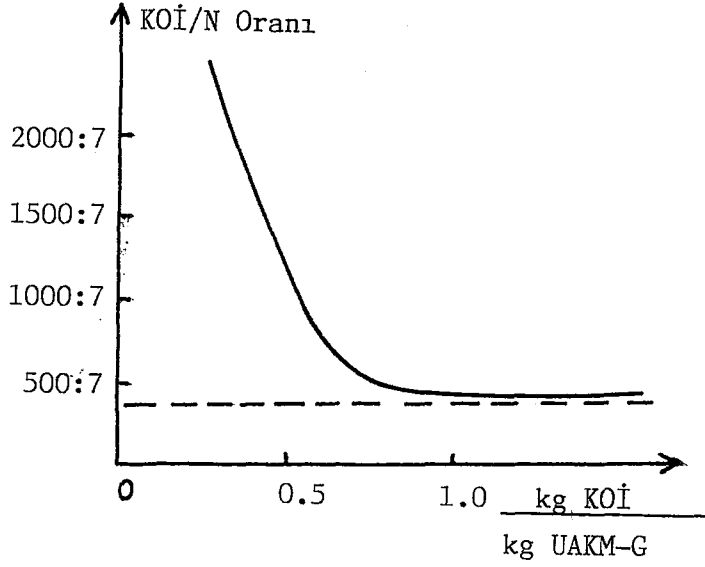
Burada,

- $\text{NÜT}_{\text{ihtiyaç}}$  : Giriş akımında istenilen min. nütrient kons.(mg/L)
- $\text{NÜT}_{\text{bakteri}}$  : Bakteri hücresindeki nütrient kons.(g/g kuru bakteri)
- $\text{KOI}'$  : Biyolojik olarak ayrışabilin giriş  $\text{KOI}'$  si (mg/L)
- Y : Dönüşüm katsayısıdır (gUAKM/g tüketilen  $\text{KOI}'$ )

Anaerobik atıksu arıtımı çoğunlukla sanayi atıksuları için kullanıldığından giriş suyunda yeterli miktarda nütrient olup olmadığı kontrol edilmelidir. Speece ve McCarty (1964) N/P oranının 7 olması gerektiğini belirtmiştir.

Teorik minimum  $\text{KOI}'/\text{N}$  oranı 350/7 dir. anaerobik reaktörlerle yapılan çalışmalarda yüksek organik yüklemelerde (0.8-1.2 kg  $\text{KOI}'/\text{kg}$  UAKM-G) bu oranın 400/7 olması gerektiği bulunmuştur(Van den Berg ve Lentz, 1980). Düşük yüklemelerde ise (< 0.5 kg  $\text{KOI}'/\text{kg}$  UAKM-G)  $\text{KOI}'/\text{N}$  oranı oldukça artarak 1000/7 veya daha fazla değerlere ulaşır. organik yüke bağlı olarak  $\text{KOI}'/\text{N}$  oranı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Henze ve Harremoes, 1983).





Şekil 4.4. Anaerobik artımda KOI/N oranı.

Yeni bir araştırmada metanojen bakterilerin bilinenden oldukça düşük fosfor konsantrasyonunda faaliyet gösterebildiği tespit edilmiştir. Bu durumda bakteri faaliyetleri devam edebilmekte fakat bakteri çoğalması minimum olmaktadır. Bu araştırma, fosfor temininin en aza indirilirken bakteri büyümesinin de kontrol edilebileceğini göstermektedir (Van den Berg v.d., 1980).

Çeşitli araştırmacılar tarafından bulunan, anaerobik prosesin aktivitesini arttıran mikronütrient miktarları Tablo 4.2' de verilmektedir.

Bu değerler özel deney sonuçları olduğundan iz element ihtiyacını belirleyici bir rehber olarak kullanılamaz. Uygulamada hangi atıksularda ne kadar iz element kullanılması gerektiği kolaylıkla cevap bulunamayacak bir sorudur. Fakat özellikle yüksek organik yüklemelerde nütrient ihtiyacına bilhassa çok dikkat edilmesi gerekir.



Tablo 4.2. Anaerobik proseste faydalı nütrient miktarları ve etki şekli.

Bileşik	Çalışmadaki faydalı kons(mg/L)	Etki şekli	Kaynak
Fe <sup>++</sup>	0.2	Sülfit çöktürme, Flokülasyon Biyofilm oluşturma	(Speece ve McCarty, 1964)
Ni <sup>+</sup>	0.01 0.006	Metanojenlerde F430 kofaktör oluşumu, Aktivite artışı	(Thauer,1981)(Murray ve Van den Berg, 1981)
Mg <sup>++</sup>	0.01-0.02	Flokülasyon	(Lettinga v.d.,1980)
Ca <sup>++</sup>	0.01-0.04	Flokülasyon	(Lettinga v.d.,1980)
Ba <sup>++</sup>	0.01-0.10	Flokülasyon	(Lettinga v.d.,1980)
Co <sup>++</sup>	0.01 0.003	Vitamin B1 oluşumu Aktivite artışı	(Speece ve McCarty, 1964)
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	0.02	Aktivite artışı	(Van den Berg v.d., 1980)

Demir ve fosfor, anaerobik sindirimde normal olarak gereklidir. Nikel, kobalt ve molibden bazı metanojenik bakteriler için gereklidir. Mesela mısır, patates işleyen tesislerin atıksuları nikel, kobalt gibi kirleticileri yeterli miktarda bünyelerinde bulundurmazlar. Dolayısıyla bu maddelerden ilave etmek gereklidir. Nikel ihtiva eden F 460 faktörü, metanojenik bakterilerin koenzimi için gereklidir. Ancak nikel belli bir konsantrasyonun üzerinde toksik etki yapar. Diğer taraftan, fazla miktarda ortama demir ilavesi demirin fosfat ile çökmesine sebep olur (Speece, 1983).

#### 4.4. Metanojenik Zehirlilik ve İnhibisyon (Engelleyici Etki)

Bütün biyolojik proseslerde olduğu gibi anaerobik arıtmada da zehirlilik söz konusudur. Belirli bir konsantrasyonun üzerinde bütün maddeler (hatta düşük konsantrasyonlarda bakteri metabolizmasına faydalı olan maddeler dahi) proseste engelleyici etki veya zehirlilik meydana getirebilir. Bu maddelerin bir arada bulunması neticesinde antagonistik ve sinerjistik etki de meydana gelebilir. Bütün bu faktörlerin yanında zehirlilikle ilgilenirken adaptasyonu ve biyolojik ayrışabilirliği dikkate alınmalıdır. Bu



nedenle zehirlilik ve inhibisyon için belirli değerler vermek oldukça zordur. Kolaylıkla ayrışabilen ve biyolojik olarak parçalanabilen atıksularda zehirlilik genellikle metanojenik toplulukla sınırlıdır.

Anaerobik arıtmada metanojenik zehirliliği birkaç grupta inceleyebiliriz.

a- Yaygın ve pH'ya bağlı zehirlilik : Birçok bileşik orta değerdeki konsantrasyonda anaerobik arıtmada geri dönüşümü mümkün etkiler meydana getirir. Bu bileşikler; uçucu yağ asidi (UYA), amonyak (atıksuda amino asitler ve proteinler mevcutsa) ve yüksek konsantrasyonda sülfür içeren atıksularda hidrojen sülfür. Uçucu yağ asidi, amonyak ve sülfürün zehirliliği pH'ya doğrudan bağlıdır.

b- Kuvvetli zehirler : Bazı bileşikler çok düşük konsantrasyonda dahi ani ve geri dönüşümü mümkün olmayan zehirlilik meydana getirmektedir. Bu bileşikler; bazı ağır metaller, kuvvetli zehirler ve organik solventlerdir.

c- Fenol ve Yağ Bileşenleri : Bunlar orta derece konsantrasyonda kuvvetli ve geri kazanımı mümkün olmayan yada çok yavaşça geri kazanabilir zehirlilik özelliği gösterir. Bu bileşikler, fenolik bileşenler (lignin, tanin) , yağlar (uzun zincirli yağ asitleri) ve apolar bileşiklerdir.

d- Tuzlar : Katyonlar yüksek konsantrasyonda geri dönüşümü mümkün zehirlilik oluşturur.

e- Oksijen : Metan bakterisi gibi zorunlu anaerobik bakteriler için toksiktir. Ancak, anaerobik çamur yaklaşık, asit bakterilerinin %1'i kadar fakültatif aerobik bakteriler içerir. Bu nedenle kazıya reaktöre girebilecek oksijen çoğu zaman bu bakteriler vasıtasıyla tüketilerek metanojenlere herhangi bir zarar gelmesini önlemektedir. Pratikte oksijen herhangi bir sorun oluşturmamakla beraber organik içeriği düşük atıksularda (>0.5 g KO<sub>2</sub>/L) ve düşük bekletme sürelerinde önemli bir etkiye neden olabilir.

#### 4.4.1. Metanojenik Toksinlerin Etkisi

Yaygın olarak görülen metanojenik engelleyicilerin (UYA, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S) zehirliliği pH'ya bağlıdır çünkü bu bileşiklerin iyonize olmamış şekli etkin zehirleyici etki



göstermektedir. Yüksek derecede iyonlaşmayı önleyici bir pH temin edilirse (UYA ve H<sub>2</sub>S için yüksek pH ve NH<sub>3</sub> için düşük pH) bu bileşiklerin zehirli etkisi azalacaktır. Diğer bileşiklerin (ağır metaller, yağ, lignin vereçine) zehirlilik etkisi de çözünme, çökelme reaksiyonları neticesi dolaylı olarak pH'ya bağlıdır. Çözünmeyi azaltan bir pH derecesi (ağır metaller için yüksek pH ve yağlı bileşikler için düşük pH) zehirlilik etkisini de azaltacaktır. Ancak böyle bir durumda reaktörde katı parçacıkların oluşması da istenmez çünkü bunlar biyokütle arasında birikerek aktiviteyi azaltacaktır.

Bir çok durumda metanojenler toksik bileşiklere uyum sağlayabilir. Bunun en iyi örneği amonyağa sağlanan uyumdur. Fakat bu uyum dolaylı yoldan da olabilir. Örneğin bir başka anaerobik bakteri bu bileşiği parçalar veya biyolojik olarak değiştirip konsantrasyonu azaltarak zehirlilik konsantrasyonunu düşürebilir. Bunun belirgin örnekleri; fenolün parçalanarak uyum sağlanması ve sülfitin anaerobik olarak H<sub>2</sub>S'e indirgenmesidir.(bu bileşen sülfitten daha az toksiktir).

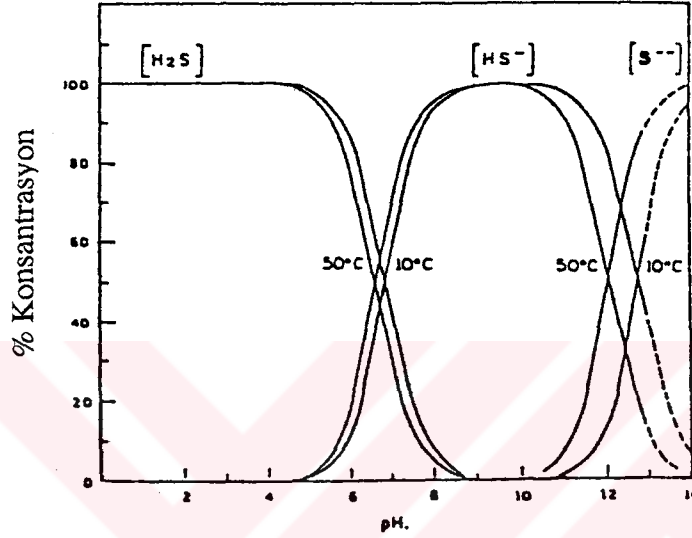
Geri dönüşümü mümkün zehirlilik olarak adlandırılan ve bileşenin ortamdan uzaklaştırılmasıyla, toksik etkinin gözlenmediği duruma en iyi örnek sodyum (Na<sup>+</sup>) dur. Bu durumda zehirli bileşik, hücrelerin metabolik düzenini bozmakta ve bileşenin uzaklaştırılmasıyla hücre faaliyetleri normale dönmektedir. Diğer durumlarda, zehirli bileşik ortamdan uzaklaştırılsa bile zehirlilik durumu devam etmektedir. Fakat kaybedilen aktivitenin geri kazanılması yeni metanojenik bakteri çoğalmasından daha hızlı olmaktadır. Böyle durumlara geri kazanılabilir zehirlilik denilmektedir. Zehirli bileşikler hücre dışı zar veya hücreler arası enzimler gibi bileşenlerde etkilidir ve hücrelerin ölmesine neden olmaz. Fenolik bileşikler geri kazanılabilir zehirliliğe iyi bir örnektir. Bakterisidal veya öldürücü zehirler hücrenin ölümüne neden olur. Eğer zehirli bileşikler ortamdan uzaklaştırılırsa, kaybedilen aktivitenin geri kazanılması için gereken zaman yeni metan bakterilerinin çoğalması için gereken zamana eşittir. Kloroform ve formaldehit öldürücü toksinlere bir örnektir.

#### 4.4.1.1. Sülfür ve Metallerin Zehirlilik Etkisi

Sülfid ve sülfat zehirli olmayan bileşiklerdir fakat anaerobik koşullarda zehirli olan sülfüre indirgenir. Sülfat ve sülfid birçok sanayi atıksuyunda (melas, kağıt, pektin, alkollü içecek üretimi, vs.) yüksek konsantrasyonda bulunur. Sülfür zehirliliği serbest hidrojen sülfür konsantrasyonuna bağlıdır. Bu nedenle düşük pH'larda (<6.5) zehirlilik artar. Atıksuda demir iyonlarının mevcut olması durumunda ise demir sülfürün



çökmesiyle zehirlilik azalacaktır. pH' nın serbest hidrojen sülfürün, toplam  $H_2S$ ' ye ( $HS^-+H_2S$ ) oranına etkisi Şekil 4.5' de görülmektedir. Metanojenik aktiviteyi %50 inhibe eden serbest  $H_2S$  konsantrasyonu yaklaşık 250 mg S/L' dir (Koster v.d., 1986). Sülfat iyonu ise anaerobik artım için nispeten zehirsizdir.



Şekil 4.5. İyonize olmamış hidrojen sülfürün pH' ya bağlı değişimi.

Metan bakterileri ve sülfür oluşturucu bakteriler aynı besin maddelerini, yani asetik asit ve hidrojeni kullanırlar. Sülfatın, hidrojen sülfüre indirgenmesi enerjetik olarak metan üretiminden çok daha kolaydır. Bu nedenle sülfat, hidrojen ve asetat besin maddelerini kullandığından metan oluşumunu engeller.

Su içerisinde hidrojen sülfürün iyonize olmuş kısmı suyun sıcaklığına, pH ve hidrojen sülfür gazının kısmi basıncına bağlı olarak değişir. Düşük pH' larda iyonize olmamış hidrojen sülfür konsantrasyonu arttığından metan oluşturucu bakteriler üzerinde engelleyici etki meydana getirmektedir. 100 - 200 mg/l iyonize olmamış hidrojen sülfür içeren su, metan oluşumunu yavaşlatırken 200 mg/l'ten fazla iyonize olmamış hidrojen sülfür, metan oluşumunu tamamen durdurur. Ayrıca reaktörün sıcaklığı düştüğü zaman iyonize olmamış hidrojen sülfür konsantrasyonu da artar. Bu durumda ise iyonize hidrojen sülfürün ortamda artmasıyla metan oluşturucu bakteriler üzerinde zehirli etki meydana gelir.



Alkali ve toprak alkali gibi hafif metallerin belli bir konsantrasyonda atıksuda bulunması metan bakterileri için teşvik edicidir. Ancak sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi alkali ve toprak alkali metallerin konsantrasyonları endüstriyel atıksularda oldukça yüksek olabilir. Bunlar ise verimsizliğe ve anaerobik arıtmada dengesizliğe sebep olur. Bu metallerin konsantrasyonları çoğu atıksularda düşük olduğu halde pH ayarlama esnasında suya ilave edilen maddeden dolayı artabilir. Bu tuzların engelleyici etkisi oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Alkali ve toprak alkali metallerin engelleyici ve teşvik edici konsantrasyonları Tablo 4.3' te verilmiştir (Field, 1989).

Orta derece engelleme değerlerinde, bazı mikroorganizmaların bu konsantrasyonlara da alıştığı belirlenmiştir. Bu maddeler, bu konsantrasyonlarda ortama ani olarak enjekte edildiği zaman proseste birkaç günden birkaç haftaya kadar değişen bir süre verimsizlik oluşturur. Ayrıca bir değerlikli metallerin, iki değerlikli metallerin göre daha az zehirli olduğu bilinmektedir.

Tablo 4.3 : Alkali ve Toprak Alkali Metallerin Teşvik ve Engelleyici Etki Konsantrasyonları.

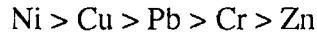
Metal (mg/lt)	Aktivite artırma	Orta Engelleme	Kuvvetli Engelleme
Sodyum	100 - 200	3500 - 5500	8000
Potasyum	200 - 400	2500 - 4500	12000
Kalsiyum	100 - 200	2500 - 4500	8000
Magnezyum	75 - 150	1000 - 1500	3000

Bu katyonlar atıksuda birarada mevcut ise, etki şeklinin çok daha karmaşık olduğu görülmüştür. Katyonların bazıları antogonistik olarak hareket ederek diğer katyonların toksisite etkisini azaltır. Bazıları da sinenjistik olarak diğer katyonların toksisitesini artırır. Metan bakterilerinin yüksek konsantrasyonlu alkali ve toprak alkali metallere adaptasyonu incelenmiş, fakat 12 haftalık süre sonunda dahi metan bakterilerinin bu maddelere adapte olmadığı gözlenmiştir.



Ağır metallerin zehirlilik etkisi buldukları bileşiğin şekline bağlı olarak değişmektedir. Eğer ağır metaller sülfür bileşikleri şeklinde bulunuyorsa, metan bakterilerinin üremesi üzerine hiçbir olumsuz etkisi yoktur. Ancak ağır metaller nitratlı veya klorürlü bileşikler şeklinde reaktöre verildiğinde metan gazının üretimi durmaktadır. Bu durumun  $Fe^{+2}$  bileşiğinde görülmemesinin sebebi, reaktör şartlarındaki pH aralığında demir,  $FeCO_3$  şeklinde çökerek ortamdan uzaklaşmasıdır.

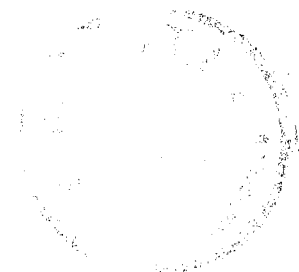
Metan gazı üretiminde % 70 oranında azalmaya sebep olan metallerin toksisite konsantrasyonları Tablo 4.4. da verilmiştir. Ağır metallerin metan bakterileri üzerine toksisite etkileri tam olarak anlaşılammakla birlikte hangi metalin ağırlık/ağırlık oranına göre zehirli olduğu,



şeklinde sıralanabilir.

Tablo 4.4. : Anaerobik Reaktör İçin Ağır Metallerin Toksikite Etkileri.

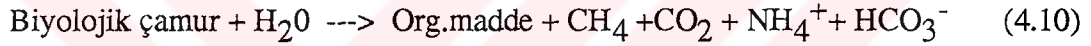
Metal	Engelleyici Kons(mg/lt)	Zehirlilik Limiti (mg/lt)	Şok Zehirlilik Limiti(mg/lt)
Cr(3)	130	260	200
Cr(6)	110	420	180
Cu	40	70	50
Ni	10	30	30
Cd	-	20	10
Pb	340	340	250
Zn	400	600	1700



#### 4.4.1.2. Amonyakın Toksik Etkisi

Amonyak anaerobik arıtmada potansiyel bir engelleyicidir. Amonyakın zehirlilik etkisi iyonize olmamış serbest amonyak nedeniyle oluşur. 0.1-0.2 kg N/m<sup>3</sup> konsantrasyon değerlerinde zehirlilik başlar. Eğer reaktörün pH'sı yeterince düşükse toplam amonyak+amonyumun, 5-8 kg N/m<sup>3</sup> konsantrasyonları engelleyici olmamaktadır.

Protein ve amino asit gibi azot içeren organik maddelerin sindirimi esnasında metan ve karbondioksidin yanında amonyak azotu ve bikarbonat alkalinitesi meydana gelir. pH ve etkileri kısmında da bahsedildiği gibi, örneğin evsel atıksu arıtma tesisine ait 15 günlük çamur bekleme süreli ve 35°C sıcaklıktaki bir ön çökeltim biyolojik çamurunun anaerobik ayrıştırılması sonucu,

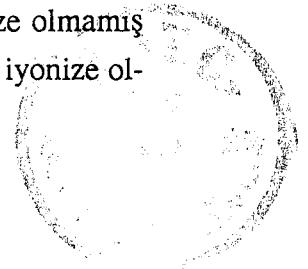


denkleme göre amonyak meydana gelir (Parkin, 1986). Biyolojik çamurun 1 g/L'lik konsantrasyonundan yaklaşık olarak 56 mg/L NH<sub>4</sub><sup>+</sup> açığa çıkmaktadır. Çamur bekleme süresi arttıkça, azotlu organik maddelerin bozunması da artmaktadır. Aktif çamur gibi yüksek proteinli çamurlar, fazla amonyum azotu açığa çıkardığından engelleyici etkiyi yol açmaktadır.

Amonyak azotunun suda bulunuş şekli pH, konsantrasyona ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. pH'ya bağlı olarak değişimi aşağıdaki denklemlerle ifade edilmekte ve Şekil 4.6' da görülmektedir.



50-200 mg/L amonyak azotu içeren atıksular anaerobik arıtım için uygundur. Atıksudaki amonyum azotu miktarı 700 mg/L yi aştığı zaman, metanojenik aktivite üzerinde bir azalma olduğu gözlenmiştir. Amonyum-azotu konsantrasyonu, eşik değerini aştığı zaman toksik etki yapmaktadır. Bu eşik konsantrasyon 1700-1800 mg/L dir. İyonize olmamış amonyak azotunun toksisite eşik konsantrasyonu ise 40-80 mg/L iyonize olmamış amonyak azotudur. Aşırı bir toksisitenin olduğu konsantrasyon ise 200 mg/L iyonize olmamış amonyak azotudur.



Atık sudaki iyonize olmamış amonyak azotu konsantrasyonunu,

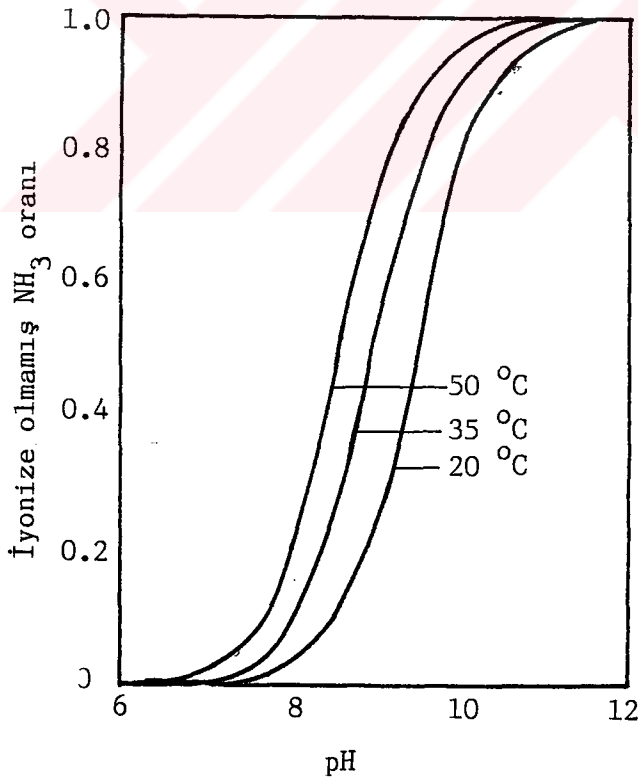
$$UAN = TAN / (1 + 10^{(pKa-pH)}) \quad (4.12)$$

denklemini ile bulmak mümkündür (Koster, 1986). Burada ;

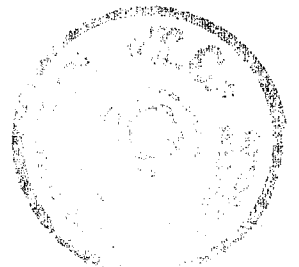
pKa : Amonyum iyonunun disosiasyon sabitidir ve 35°C ile 55°C deki değerleri sırasıyla 8,95 ve 8,416 ya eşittir.

TAN : Toplam amonyak azotunun deneysel ortalama değeridir.

Bu denklem incelendiği zaman UAN'ın suda bulunuş şeklini etkileyen parametrelerin TAN ve pH olduğu anlaşılır. Eğer ortamın pH'ı 7.6 dan yüksek ve 1500 - 3000 mg/lt toplam amonyak azotu arasında ise UAN azotu konsantrasyonu da artacağından engelleyici olur. Bu durumda uçucu asit konsantrasyonunda artış ve sonuçta pH' da düşmeyle son bulur (Koster, 1986).



Şekil 4.6. İyonize olmamış amonyağın pH'ya bağlı değişimi.



#### 4.4.1.3. Uçucu Yağ Asitleri ve Toksik Etkisi

Uçucu yağ asitleri ve daha yüksek zincirli yağ asitleri anaerobik reaksiyonda potansiyel engelleyicilerdir (McCarty, 1961). Uçucu yağ asitleri toksisitesi pH' ya bağlıdır çünkü sadece iyonize olmamış (serbest) asitler zehirlilik özelliği gösterir. Şok yükleme veya engelleyici maddelerden dolayı metanogenik popülasyonda azalma meydana gelirse uçucu yağ asitlerin (asetik, propionik ve bütirik asit) konsantrasyonları artar. Bu artış sonucunda pH değeri de düşer.

Bazı araştırmacılar uçucu asit konsantrasyonunun 2000 mg/l'ti aştığı zaman metan bakterileri üzerinde toksik etki yaptığı sonucuna varmışlardır. Mc Carty ve McKinney (1961), çeşitli uçucu asitlerin metanojenik bakteriler üzerine etkilerini incelemiş ve kötü çalışan reaktörlerde artan konsantrasyonların metan bakterileri üzerinde toksik etki meydana getirmediği sonucuna varmışlardır. Buhr ve Andrews (1979) uçucu yağ asitleri toksisitesinin iyonize olmamış uçucu asitlerden ileri geldiğini belirtmiştir. Buna göre uçucu asitlerin toksisitesi ortamın pH'ının yanında uçucu asitin konsantrasyonu ile de alakalıdır. İyonize olmamış uçucu asit konsantrasyonu,

$$UYA(\text{mg/L}) = TUYA \cdot 10^{(pK_a - pH)} / (1 + 10^{(pK_a - pH)}) \quad (4.13)$$

denkleminde bulunabilir (Kroeker, 1979 ve Koster, 1986). Burada;

UYA : İyonize olmamış uçucu yağ asidi kons (mg/L)

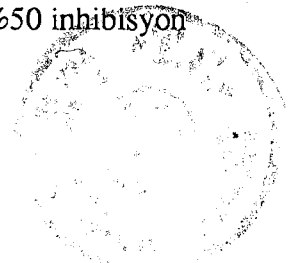
TUYA : Toplam uçucu yağ asidi kons (mg/L)

Ka : Asetik ve propionik asit için dissosiasyon sabitidir ve pH'ya bağlı olarak değişimi,



denkleminde bulunur. Eğer ortamın pH'ı düşükse, reaksiyon sol tarafa doğru ilerler ve sonuçta iyonize olmayan uçucu asit konsantrasyonu artar.

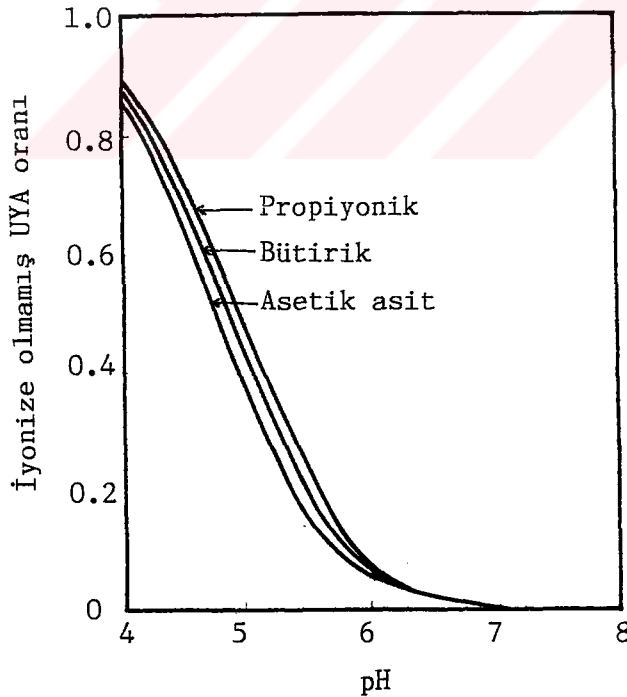
Uçucu yağ asitlerinin zehirlilik etkisi pH'ya bağlıdır çünkü iyonize olmamış uçucu yağ asitleri toksiktir. Örneğin iyonize olmamış asetik ve propiyonik asit için %50 inhibisyon



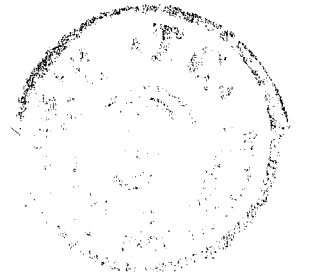
konsantrasyonunun sırasıyla 16 ve 6 mg UYA-KOİ/L olduğu saptanmıştır (Kroiss, 1985). İyonize olmamış uçucu yağ asitleri miktarının pH ' ya göre değişimi Şekil 4.7' de görülmektedir. Eğer reaktör pH' sı düşükse, iyonize olmamış uçucu yağ asitleri miktarı yüksek olacak ve zehirlilik etkisi artacaktır.

İyonize olmamış uçucu asit konsantrasyonu 30 - 60 mg/lt seviyesinde ise metan oluşturu bakteriler üzerinde engelleyici etki meydana getirir. Ortamda 30 mg/lt iyonize olmayan asit pH=7' de toplam uçucu asitlerin konsantrasyonunun 5500 mg/lt olması demektir. pH 6.5 ve UYA konsantrasyonu yine 30 mg/lt ise toplam uçucu asit konsantrasyonu 1800 mg/lt ye eşittir. Bu iki örnek incelendiğinde pH' ın ne kadar önemli olduğu anlaşılır. Dolayısıyla optimum pH aralığının 6.5 ve 7.6 arasında olması istenir (Kroeker, 1979).

Uçucu yağ asitleri ve düşük pH kombinasyonundan dolayı metan bakterilerinin engellenmesi geri dönüşümlüdür. Düşük pH değerlerinde metan bakterileri uzun süre UYA lara maruz kalsa (2 ay gibi) yinede canlı kalabilirler. Genelde aktiviteyi engelleyen uçucu asitler ve pH ayarlandıktan sonra, reaktörde şartlar, birkaç günden birkaç haftaya kadar düzelir. Eğer düşük pH şartları sadece 12 saat gibi kısa süre devam etmiş ise pH düzeltildiği zaman metanogenik aktivite normal şartlara kısa sürede ulaşır.



Şekil 4.7. İyonize olmamış uçucu asitlerin pH' ya bağlı değişimi.

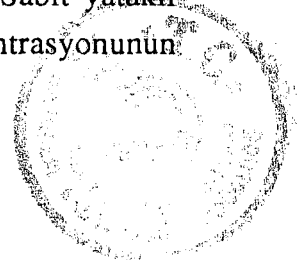


Anaerobik reaktörde kararlı durumda çalışılırken anaerobik reaksiyona katılan çeşitli bakteri grupları arasında besin alışverişinde iyi bir uyum mevcut olduğundan katabolik ürünlerin birikimi söz konusu değildir. Fakat, işletme şartlarında ani bir değişiklik olduğunda farklı bakteri grupları farklı yönde reaksiyon gösterdiğinden fermantasyon süreci dengesizliğe uğrar. Bu değişim, toksik bileşikler verilen reaktörlerde, ani sıcaklık değişimlerinde, aşırı organik yüklemelerde ve besi maddesi değişikliklerinde gözlenmiştir.

İlk çalışmalarda, aşırı yüklenen anaerobik çürütücülerde asetik asit veya toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonunun kararsızlık durumunu belirlemede önemli bir rol oynadığı ortaya konulmaktaydı. Genellikle bu artış pH' da ve metan üretiminde düşmeye neden olmaktadır. Sonuç olarak araştırmacılar, asetat tüketen metanojenlerin işletme şartlarındaki ani değişimlere karşı en hassas bakteri grubu olduğunu kabul etmiştir. Oysa birçok çalışmada asetatça zenginleştirilmiş kültürlerde çalışılmakla yetinilmiştir. Ancak, bir kaç araştırmacı uçucu yağ asitlerini ayrı ayrı incelemiştir. Bu durumda uçucu yağ asitleri içinde şok değişimlere en hassas olanın propiyonik asit olduğu öne sürülmüştür. Ayrıca şok artımda uçucu yağ asitlerinin değişimini belirleyen bir matematik model çıkarılmıştır. Bu model hidrojen kısmi basıncındaki yükselmenin asetik veya bütirik asitten ziyade propiyonik asit konsantrasyonunda daha fazla artışa neden olduğunu öne sürmüştür.

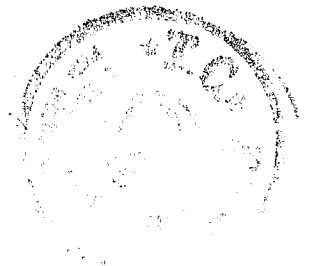
Uçucu yağ asitleri azalan pH ile artmaktadır. İyonize olmamış asitler, iyonize olmuş formlara göre bakteriyel sitoplazmik membrandan daha kolaylıkla geçmektedir. İyi işleyen bir reaktörde verim yüksektir ve biyokimyasal reaksiyonlar dengededir. Ancak işletme şartlarındaki değişiklik bu dengeyi bozarak bazı ara ürünlerin, özellikle uçucu yağ asitlerin birikimine neden olacaktır. Yüksek uçucu yağ asidi konsantrasyonu beraberinde biyokimyasal reaksiyonlarda değişiklikler de meydana getirmektedir (örneğin, ürünler tarafından meydana getirilecek engelleyici etki, yüksek hidrojen konsantrasyonundan dolayı metabolik reaksiyonlarda değişimler, bazı mikrobiyal gruplar için besi maddesi azlığı gibi).

Düşük çoğalma hızına sahip asetojenik ve metanojenik mikroorganizmalar inhibisyon ve toksik etkilere ve dolayısıyla reaktör çıkış suyu ile akıp kaçmaya karşı daha hassas durumdadırlar. Bu nedenle bu mikroorganizmaları sabit yataklı reaktör tipleri kullanarak tutmak daha kolay olmaktadır. Dohahyos v.d. (1985) yaptığı çalışmada çamur yataklı ve sabit yataklı reaktörlerde bu durumu araştırmıştır. Sabit yataklı reaktörlerde, kararlı (stabil) işletme koşullarında asetik asit konsantrasyonunun



propiyonik asitten fazla olduğunu, bütirik ve valerik asitlerin ise ancak yüksek organik yüklemelerde görüldüğünü belirtmiştir.

Ani değişimlere en geç alışan bakteri türü propionatı parçalayanlardır. Propionat parçalanmaya başladığı zaman reaktör normal olarak çalışıyor demektir. Bu tip değişimlerden en az etkilenen bakteri türü ise bütirik asiti parçalayan bakterilerdir (Öztürk, 1991 ve Peck v.d., 1986).





## BÖLÜM 5

### DENEY DÜZENEGİ VE DENEY METODLARI

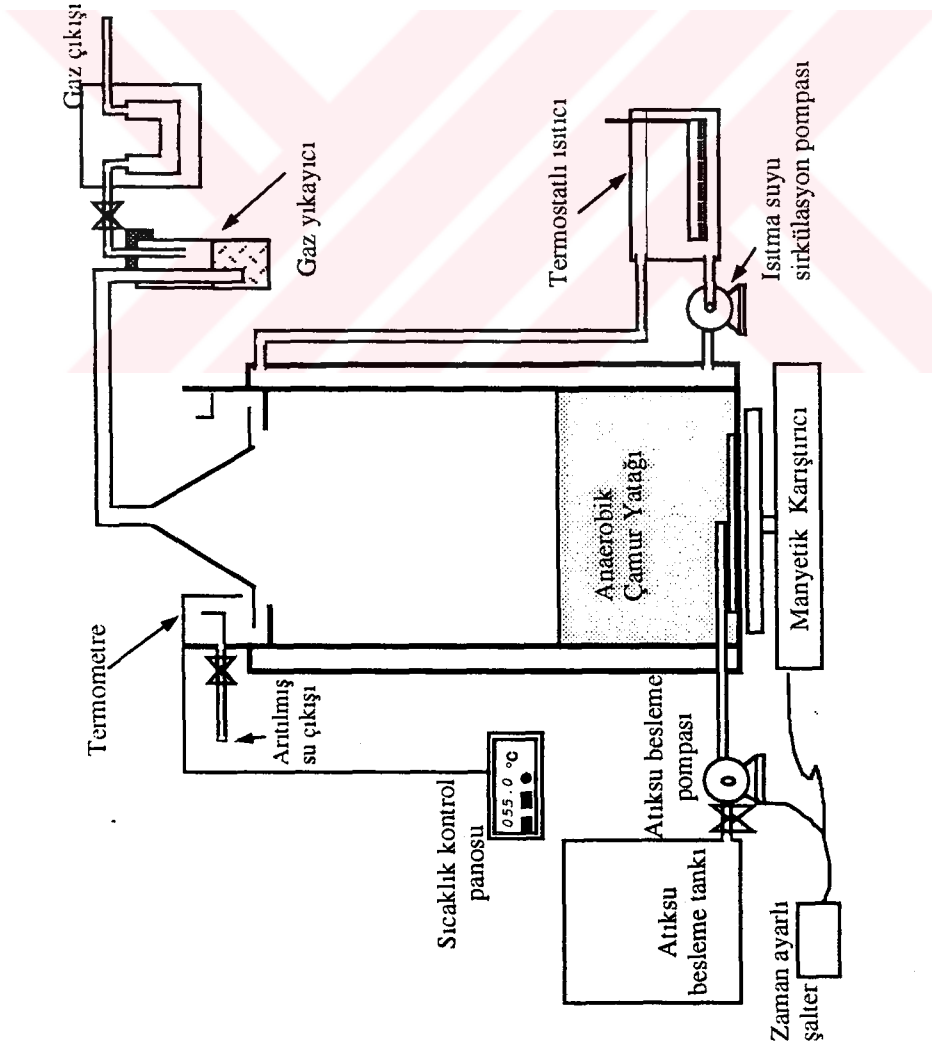
#### 5.1. DENEY DÜZENEGİ

Deneysel düzenek Şekil 5.1 ve Resim 5.1'de görülmektedir. Reaktörler, kullanım hacmi 7.4 lt olan iç içe geçirilmiş iki adet Pleksiglas silindirik levhadan oluşmaktadır. Reaktör tipi olarak Bölüm 2 ve 3'te bahsedilen avantajlarından dolayı yukarıdaki anaerobik çamur yataklı, termofilik şartlarda ( $55 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) çalışan reaktör seçilmiştir. Reaktör sıcaklığı sirkülasyonlu su banyosu cihazı ile sabit tutulmuştur. Isıtma işlemi iç silindirin etrafındaki sıcak su ceketisiyle sağlanmıştır. Isı değişimlerini en aza indirmek ve soğumayı önlemek amacıyla ayrıca reaktörün etrafı yalıtım malzemesiyle kaplanmıştır.

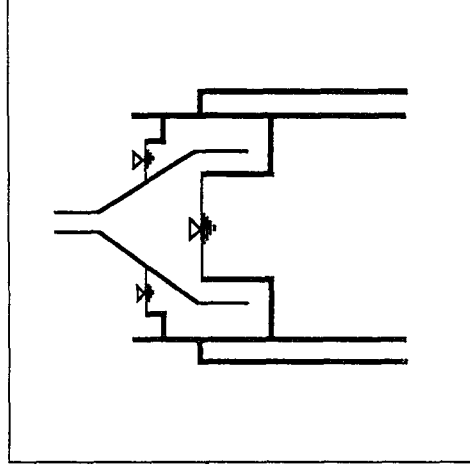
Şekil 5.1'de görüldüğü gibi, biyolojik faaliyet sonucu çıkan gaz reaktörün üstündeki sıvı-gaz ayırıcı sistemle toplanarak gaz ölçüm cihazına iletilmiştir. Atıksu beslemesi reaktörün altında ucu aşağıya doğru dönük bir boruyla reaktör tabanının merkezine iletilmiştir. Tabandaki çamur yatağının karıştırılması için, yalnız çamurun çökerek yoğunlaşmasını önleyecek derecede hareket sağlayan manyetik bir karıştırıcı kullanılmıştır.

Reaktör çıkış yapısının ilk şeklinde, artmış su çıkışı gaz çıkış yönünde olduğundan ve gaz basıncı arttığında huni yapısı üzerindeki hidrolik yük yetersiz kaldığından bir miktar gaz kaçışı saptanmıştır. Bu nedenle reaktör çıkış yapısında Şekil 5.2'de görülen düzenleme yapılarak hidrolik yük artırılmış ve atıksu çıkış yönü gaz çıkış yönünün aksi istikametine çevrilmiştir. Ayrıca bu düzenlemeden sonra gaz miktarını ölçmek için çıkış yapısındaki hidrolik yüke göre ayarlanmış bir manometrik cihaz ve buna bağlı bir elektronik sayaç düzenekleri kurulmuştur. Bu sayede gaz çıkışı kolaylıkla ve daha hassas bir şekilde ölçülebilmektedir.



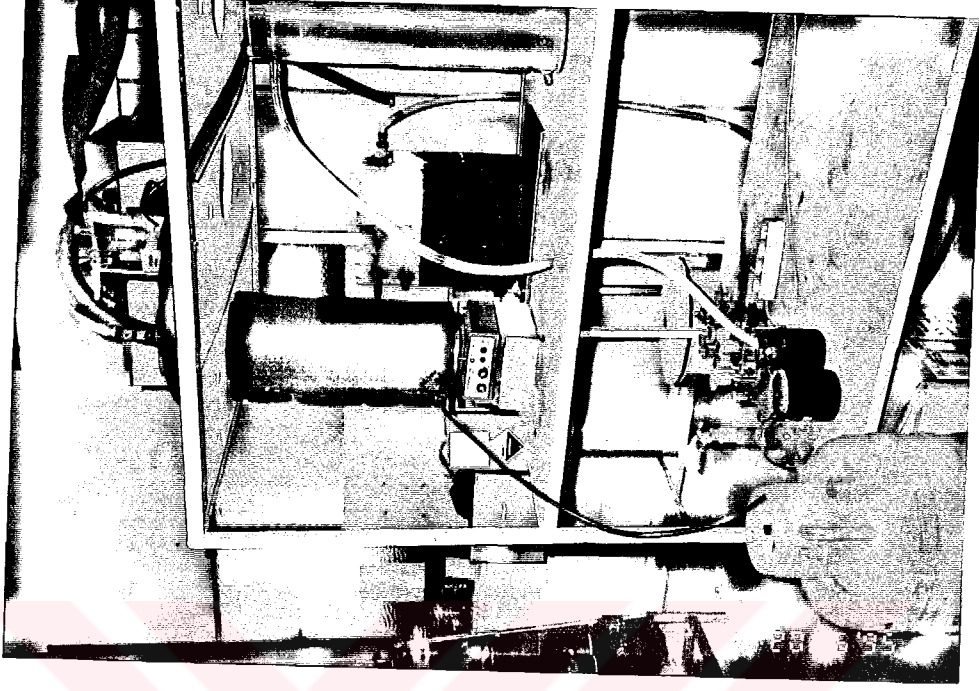


Şekil 5.1 Deneylerin Yapıldığı Reaktör Düzenliği



Şekil 5.2. Reaktör Çıkışında Yapılan Değişiklik





Resim 5.1. Deney düzenine ait fotoğraflar.



Atıksu besleme debisi de sık sık ölçülerek atıksuyun reaktörlerde teorik hidrolik bekleme süreleri tespit edilmiştir. Reaktörlerde ölü noktaların meydana gelmesini önlemek için manyetik karıştırıcı vasıtasıyla reaktör tabanındaki çamur altı dakikada, bir dakika süre ile karıştırılmıştır. Deneyler esnasında yapılan iz element deneyi ile, minimum organik yükleme (3-4 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün civarı), yani minimum gaz üretimi değerlerinde reaktörlerdeki ölü hacmin %25' lere kadar yükselebildiği de tespit edilmiştir.

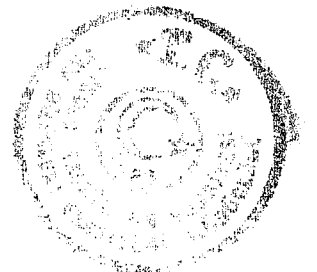
## 5.2 ANALİZ METODLARI

Reaktör savaklarından alınan numunelerde alkalinite, kimyasal oksijen ihtiyacı ve toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonu standart metotlarda (Standart Methods, 1989) belirtilen esaslara göre günlük olarak yapılmıştır. Ayrıca reaktör giriş-çıkış pH' ları, çıkan biyogaz hacmi, karbondioksit oranı, sıcaklık ve debi parametreleri de günlük olarak takip edilmiştir.

Biyogazdaki karbondioksit ve hidrojen sülfür oranları Orsat cihazında kimyasal çözünme yoluyla tespit edilmiştir. Bu ölçümler için 100 militre gaz numunesi kullanılmıştır. Karbondioksit %5' lik sodyum hidroksit ile; hidrojen sülfür ise %5' lik çinko klorür vasıtasıyla tutulmuştur.

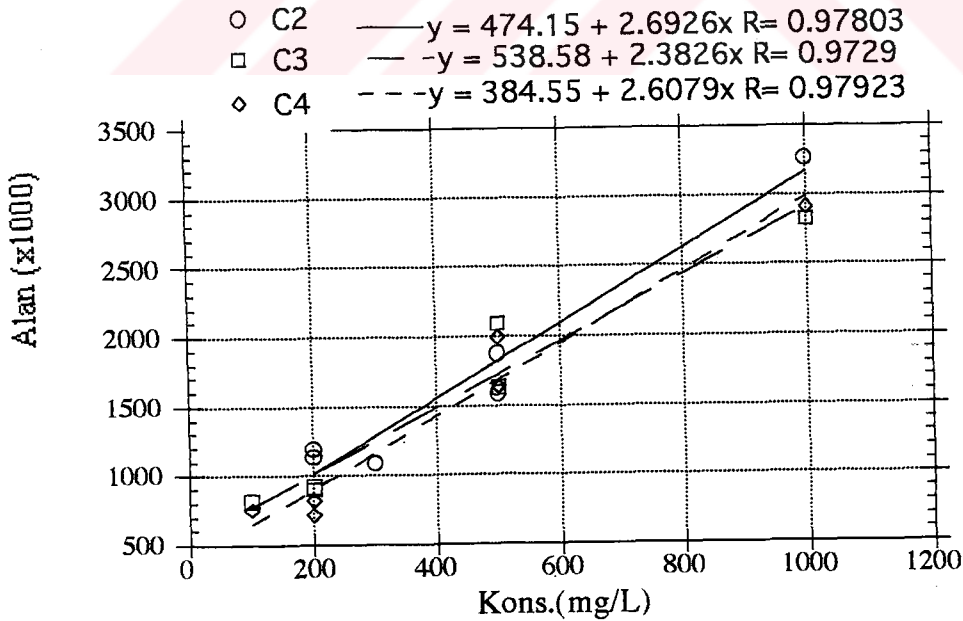
pH değerleri, WTW-dijital pH-metre cihazıyla 30-40°C civarında ölçülmüştür. KOİ deneyi Standart Metotlardaki (1989) kapalı reflux yöntemiyle yapılmış ve bu maksatla 10 ml.' lik cam tüpler kullanılmıştır. Numuneler çoğunlukla doğrudan, yüksek konsantrasyonlarda ise 1/2 veya 1/4 oranında seyreltilerek alınmış ve 150°C' de 2 saat süreyle etüvde ısıtılıp konsantrasyon tayini, 0.01 N DAS çözeltisi titrasyonu ile yapılmıştır. Numunelere ek olarak hergün bir adet şahit deneyi de yapılmıştır.

Uçucu yağ asidi deneyleri de standart metotlardaki titrimetrik yöntemine göre yapılmıştır. Tahmin edilen uçucu yağ asidi konsantrasyonuna bağlı olarak 50 yada 100 ml olarak alınan numuneler 5 ml 1+1' lik H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ilavesinden sonra 25 ml/dak hızla distile edilerek 150 ml distilat toplanmış ve 0.1 N NaOH ile fenolftalein indikatörü eşliğinde titre edilmiştir. Girişimleri önlemek için ilk 20 ml.' lik distilat hacmi titrasyonda kullanılmamıştır.

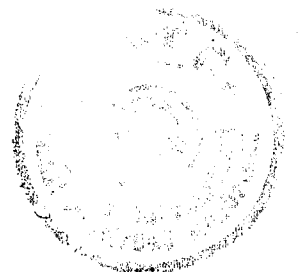


Deneilerin ikinci aşamasında uçucu yağ asidi türleri olan asetik, propiyonik ve bütirik asit konsantrasyonları gaz kromatograf cihazı kullanılarak ayrı ayrı ölçülmüştür. Bu maksatla Hewlett Packard 5890 Series II model gaz kromatograf (GC) cihazı kullanılmıştır. Cihaz kolonu 6 ft x 2 mm ID Glass olup PT 10% Alltech AT-1200 + 1% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> on Chromosorb W-AW, 80/100 paket malzemesi ihtiva etmektedir. Alev iyonlaşma detektörü 110°C de çalıştırılmış ve taşıyıcı gaz olarak 30 ml/dak akım hızında azot gazı kullanılmıştır.

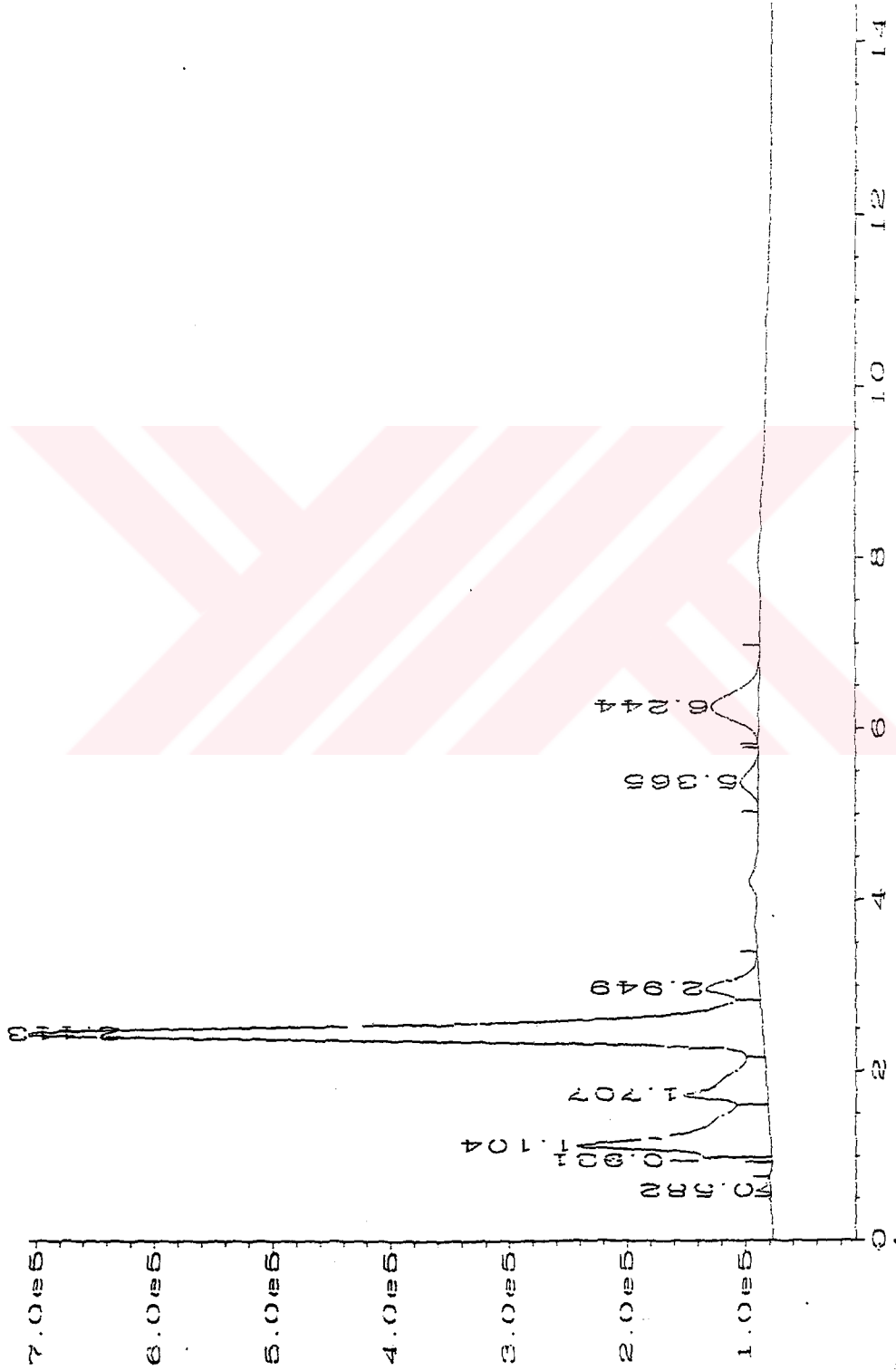
Gaz kromatografteki ölçümler için numuneler günlük olarak alınmış ve filtre edildikten sonra test tüplerine konularak buzdolabında muhafaza edilmiş, analizleri ise haftalık olarak yapılmıştır. Ölçümler esnasında günlük olarak asetik, propiyonik ve bütirik asit standartları enjekte edilerek konsantrasyonlar kontrol edilmiştir. Standart 200, 300, 500 ve 1000 mg/L' lik uçucu yağ asidi konsantrasyonları ile yapılan gaz kromatograf ölçümlerine ait çıkış verileri Şekil 5.3' te görülmektedir. Numuneler cihaza 3 mL olarak enjekte edilmiş ve çıkış dataları bilgisayardan alınmıştır. Bilgisayardan alınan çıkış sinyallerine ait bir grafik Şekil 5.4' te ve pik alanlarına ait değerler de Tablo 5.1' de verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi uçucu yağ asidi türlerinin konsantrasyonları, standartların enjeksiyonuyla elde edilen pik alanlarının numune enjeksiyonu ile elde edilen alanlara oranıyla bulunmaktadır.



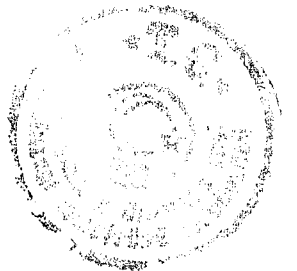
Şekil 5.3. Standart uçucu yağ asitleri kalibrasyon eğrisi.



Sig. 1 in C:\HPCHEM\2\DATA\DISTILLE.D



Şekil 5.4. Gaz kromatograf çıkış sinyaline ait bir örnek grafik.



Tablo 5.1. GC pik alanlarına ait değerler.

```

=====
                          Area Percent Report
=====
Data File Name   : C:\HPCHEM\2\DATA\2-1700.D
Operator        : MEHMET ALI
Acquired on     : 03 Nov 94 03:54 PM
Sample Name     : 1-1700
Run Time Bar Code:
Instrument Method: MA-PREC.MTH
Analysis Method : MA-PREC.MTH
Instrument       : GAS CHROM
Vial Number     :
Injection Number:
Sequence Line   :

Sig. 1 in C:\HPCHEM\2\DATA\2-1700.D

```

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.377	252769	159825	BB	0.024	15.3656
2	5.942	601859	82584	BB	0.110	36.5863
3	6.989	790411	77819	BB	0.155	48.0481

Total area = 1645040

```

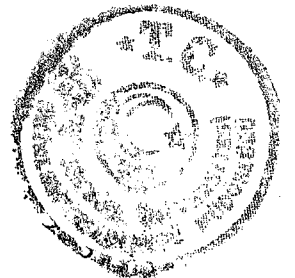
=====

```

### 5.3. DENEY METODLARI

#### 5.3.1. Reaktörlerin Devreye Alınması

Deney çalışmaları için karbon kaynağı olarak melas kullanılmıştır. Adapazarı Şeker Fabrikasından temin edilen konsantre melas belirlenen kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerlerine seyreltilmiş ve mikroorganizmalar için gerekli olan temel besi maddelerinin, reaksiyonları kısıtlayıcı parametre olmaması göz önüne alınarak hazırlanan atıksuyun bir litresine Tablo 5.2' de verilen miktarda besi maddesi ve iz elementler içeren çözeltiden birer mililitre ilave edilmiştir. Deneylerde kullanılan ham melas, Tablo 5.3' de görülen maddeleri içermektedir. Besleme çözeltisinin seçiminde ve hazırlanmasında Bölüm 4' te bahsedilen hususlar da göz önüne alınmıştır.

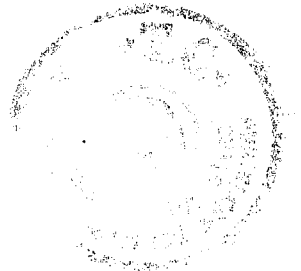




Tablo 5.2. Reaktörlere ilave edilen besi maddeleri ve iz element miktarları

Nütrient	Miktarı (g/L)	İz element	Miktarı (mg/L)
NH <sub>4</sub> Cl	170	Fe	2000
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	37	Co	2000
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	8	Mn	500
MgSO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub>	9	Cu	30
		Zn	50
		H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	50
		(NH <sub>4</sub> )Mo	90
		Na <sub>2</sub> SeO <sub>3</sub>	100
		NiCl <sub>2</sub>	50
		EDTA	1000
		Rezasurin	500
		HCl	1ml/L

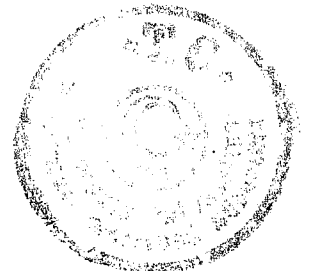
Aşı Çamuru : Termofilik şartlarda çalışan anaerobik arıtma tesisi bulunmadığından dolayı deneysel çalışmaları gerçekleştirmek için mezofilik şartlarda çalışan, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarındaki 100 litre hacimli, melas arıtımı yapan mezofilik reaktörden aşı çamuru alınarak besleme yapılmış ve çalışmalara başlanılmıştır. 7.4 lt kapasiteli üç reaktörün herbirine mezofilik şartlarda çalışan anaerobik arıtma tesisinden alınan aşı çamurundan 1.5 lt. ilave edilmiştir. Bu anaerobik çamurun toplam katı madde (TKM) miktarı 60-70 g/L, uçucu askıda katı madde (UAKM) miktarı ise 40-50 g/L olarak tespit edilmiştir.



Tablo 5.3. Deneyleerde kullanılan ham melasın bileşimi.

Parametre	Miktarı (1 g melasta)
KOİ	0.8 g KOİ
NH <sub>3</sub> -N	25-50 mg
Ortofosfat	4-8 mg
K <sup>+</sup>	40-60 mg
Na <sup>+</sup>	150-200 mg

Şekerler	Ağırlık %' si	Azotlu maddeler	Ağırlık %' si
Sakkaroz	50	Pirolidon	2.76
Rafinoz	1.2	Betain	5.5
<u>Diğer</u>	<u>0.8</u>	Glutamin asidi	0.53
Toplam	%52	<u>Diğer</u>	<u>0.5</u>
		Toplam	%11
Şeker dışı inorg. maddeler	Ağırlık %' si	Azotsuz organik maddeler	Ağırlık %' si
Potasyum (K <sub>2</sub> O)	4.68	Limon asidi	0.29
Sodyum (Na <sub>2</sub> O)	0.75	Elma asidi	0.4
Ca+Mg (CaO)	0.25	Süt asidi	1.88
Fe+Al (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.12	Asetik asidi	0.81
Klorür (Cl <sup>-</sup> )	1.03	Propiyonik asit	0.11
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	0.3	<u>Bütirik asit</u>	<u>0.18</u>
Fosfat (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0.06	Toplam	%6
<u>Nitrat (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</u>	<u>0.29</u>		
Toplam	%31		



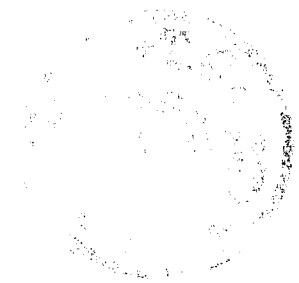
Deneilerin ilk aşamasında aşı çamuru olarak kullanılan mezofilik çamurun termofilik şartlara uyum sağlamasına çalışılmıştır. Reaktörlerde atıksu besleme çözeltisi olarak kullanılan melas, kimyasal oksijen (KOİ) miktarı 1000-2000 mg/L olacak şekilde seyreltikten ve içine Tablo 5.2' de verilen nütrient ve iz elementlerden konulduktan sonra reaktöre beslenmiştir. Besleme işlemi peristaltik pompalarla yapılmıştır. İlk gün reaktör içindeki yeni hazırlanmış sentetik numunede olması muhtemel oksijeni uzaklaştırmak için hazırlanan numunelerin içinden azot gazı geçirilmiştir.

İşletmeye alınan deney reaktörlerinde öncelikle mezofilik çamurun termofilik şartlara uyum sağlamasına çalışıldığından ilk iki hafta reaktör sıcaklığı mezofilik şartlar olan 37°C civarında tutulmuştur. Üçüncü hafta reaktörlerin üst kısmındaki gaz toplayıcı hunilerin altına Şekil 5.1' de görülen gaz saptırıcı çemberler konulduğundan bu esnada besleme yapılmamış ve reaktör ısıtılamamıştır. Takip eden günlerde reaktörlerdeki değişikliklerin yapılması için zaman kaybedildiğinden reaktörün tekrar işletilmesine başlanıldığında sıcaklık ani olarak 40°C' den 50°C' ye çıkartılmış ve daha sonraki günlerde 53-55°C aralığında korunmuştur. Bu sıcaklık artışından dolayı ani değişimin şok etki yapmaması için besleme suyu %50 seyreltilerek KOİ konsantrasyonu 500-1000 mg/L aralığına indirilerek çalışmalara devam edilmiştir.

### 5.3.2. Kısa Süreli Sıcaklık Şoku Deneyleri

Bir ay kadar bir süreden sonra devreye alınabilen üç reaktörden biri su sızıntısı nedeniyle işletme dışı bırakılmış, diğer iki reaktör ise normal olarak işletilerek şok yüklemelerin termofilik anaerobik arıtma üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler esnasında hidrolik bekletme süresinin bir gün civarında veya daha az olması planlandığından besleme debisi 10-15 L/gün civarında tutulmuştur.

Reaktörler tam olarak devreye alındıktan ve arıtma çamuru termofilik şartlara uyum sağladıktan sonra deneylere devam edilerek kısa süreli şok sıcaklık değişimlerinin termofilik anaerobik arıtma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu sıcaklık şokları uygulamada, elektrik kesintileri esnasındaki yada ısıtıcı arızalarının farkedilip yedek ısıtıcıların devreye sokulması sırasındaki değişimleri karakterize etmektedir. Ayrıca reaktör işletilmesinden sorumlu kişiden kaynaklanabilecek bir işletme hatası sonucunda da meydana gelebilecek benzeri problemler söz konusu olabilir.



Reaktör veriminde kararlı (stabil) bir durum elde edildikten sonra sıcaklık şokları için ısıtıcıların elektriği kesilmek suretiyle reaktörlerin sıcaklıkları ani olarak (yaklaşık 2 saatte) 5°C düşürülmüş ve sonra 20 dakika içinde tekrar ilk sıcaklığına yükseltilmiştir. İkinci deneme esnasında ise sıcaklıklar 10°C düşürülmüş ve daha sonra sıcaklıklar ani olarak tekrar ilk durumuna çıkarılmıştır. Son olarak reaktörlerin sıcaklığı ani olarak 5°C yükseltilmiş ve tekrar ilk sıcaklığına düşürülmüştür.

Bu aşamadaki çalışmalarda gaz kromatograf cihazı mevcut olmadığından dolayı asetat, propionat ve bütiratın konsantrasyonları ayrı ayrı ölçülemedi, sadece asetik-valerik (C2-C5) arasındaki uçucu yağ asitleri toplam uçucu yağ asidi deneyi ile toplam konsantrasyon olarak ölçülmüştür. Uçucu yağ asitleri deneyi aşağıda analiz metodları kısmında açıklandığı gibi standart metotta belirtilen ölçüm esasları gözönüne alınarak günlük olarak yapılmıştır. Çalışma esnasında günlük olarak pH, sıcaklık, gaz miktarı, karbondioksit ve metan yüzdesi, alkalinite, toplam uçucu yağ asidi ve KOİ değerleri de ölçülmüştür. Ayrıca zaman zaman kjeldahl azotu ve askıda katı madde tayinleri yapılmıştır.

Reaktörlerin işletilmesi esnasında bazı günlerde ısıtıcı arızası, çamur kabarması, pompa arızası, aşırı yükleme gibi işletme problemleri meydana geldiğinden arıtma verimi kısa süreli olarak olumsuz yönde etkilenmiştir. Bunlardan önemli olanları aşağıda sıralanmıştır.

63.günde bir su sızıntısı nedeniyle oluşan kısa devre sonucu reaktörlerin elektriği bir gece boyunca kesik kalmıştır. Bu nedenle reaktör sıcaklıkları oda sıcaklıklarına düşmüş ve besleme yapılamamıştır. 81.günde reaktör 2' de uçucu yağ asidi konsantrasyonu yüksek değerlere çıktığından derhal geri devir yapılmaya başlanılmıştır. Aşırı yüklemekten dolayı stabilitesi bozulan reaktör 85.günde normal işletme şartlarına döndürülmüştür.

100.günden itibaren reaktör 3'te organik yükleme artışından dolayı verim düşüklüğü gözlemlendiğinden yükleme değeri azaltılarak reaktörün birkaç gün içinde karalı duruma gelmesi sağlanmıştır.

142.günde ise şok organik yüklemekten dolayı her iki reaktördeki uçucu yağ asidi konsantrasyonu 3000 mg HAC/L değerinin üzerine çıkmış ve dolayısıyla pH' da düşme



gözlenmiştir. Bunun neticesinde reaktör beslemesi kesilerek geri çevrim yapılmaya başlanmıştır. Çıkış KOİ' sinin azaldığı ve uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının nispeten düştüğü gözlenince tekrar normal besleme işlemine devam edilmiştir.

### 5.3.3. Uzun Süreli Sıcaklık ve Yükleme Şokları

Reaktörlerde değişik organik yükleme ve bekletme zamanlarında yapılan kısa süreli sıcaklık şoklarından sonra yeni bir çalışma yapmak amacıyla daha önce işletilen reaktörlerden bir tanesi yeniden devreye alınmıştır. Bu arada reaktör çıkış yapısında Kısım 5.1' de bahsedilen değişiklikler yapılmış ve imal ettirilen gaz sayacı takılmıştır. Deneylerin ilk aşamasından sonra reaktör çamuru yaz aylarında kullanılmadan oda sıcaklıklarında bekletildiğinden anaerobik reaktör çamurunun yeniden devreye alınması ve tam kapasite ile çalışması 10 günlük bir zaman diliminde gerçekleştirilebilmiştir. Yeni deney çalışmasında reaktör ısıtıcısında arızaların bir vardiya veya daha uzun süreli olabileceği göz önünde tutularak uzun süreli sıcaklık şoku yapılmıştır.

Deney çalışmalarında yine sıcaklık, pH, giriş ve çıkış KOİ değerleriyle, çıkan biyogazın miktarı, UYA konsantrasyonu, biyogazın CO<sub>2</sub> oranı günlük olarak izlenmiş, ayrıca çıkış suyu alkalinitesi ve biyogazdaki H<sub>2</sub>S oranları ölçülmüştür. Bu çalışma esnasında ilaveten gaz kromatograf cihazı ile uçucu yağ asidi türlerinden asetik, propiyonik ve bütirik asidin konsantrasyonundaki değişimler de ölçülmüştür.

Deney çalışmaları yapılan reaktörün sıcaklığı ilk günlerde 50°C' de tutulurken ani olarak 55°C' ye çıkartılmış ve izleyen günlerde bu sıcaklıkta korunmuştur. Böylece hangi sıcaklık değerinin daha uygun bir arıtım temin edeceği ve ani sıcaklık artışının ne gibi etkileri olacağı tespit edilmeye çalışılmıştır. Reaktör 55°C sıcaklık şartında sürekli olarak çalıştırılıp kararlı bir durum elde edildikten sonra yeni bir sıcaklık şoku yapılmıştır. Bu denemede, ısıtıcılarda meydana gelebilecek bir arızadan dolayı en az bir çalışma vardiyası sürecektir olan sıcaklık şokunun etkisini belirlemek amacıyla 18 saatlik bir süreyle sıcaklık, termofilik şartlar dışındaki değerlerde tutulmuştur. Bu maksatla ısıtıcıların elektriği kesilip reaktör beslemesine devam edilmiştir. Böylece 2 saatlik bir sürede reaktör çıkışındaki su sıcaklığı, oda sıcaklığına kadar (28-30°C) düşmüştür. Reaktörler bu sıcaklıkta besleme yapılarak 14 saat işletilmiştir. Daha sonra ısıtıcılar açılarak 2 saat içinde tüm reaktör sıcaklığı 53°C' ye yükseltilmiş ve izleyen saatlerde 53-54°C' de korunmuştur.



## BÖLÜM 6

### DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

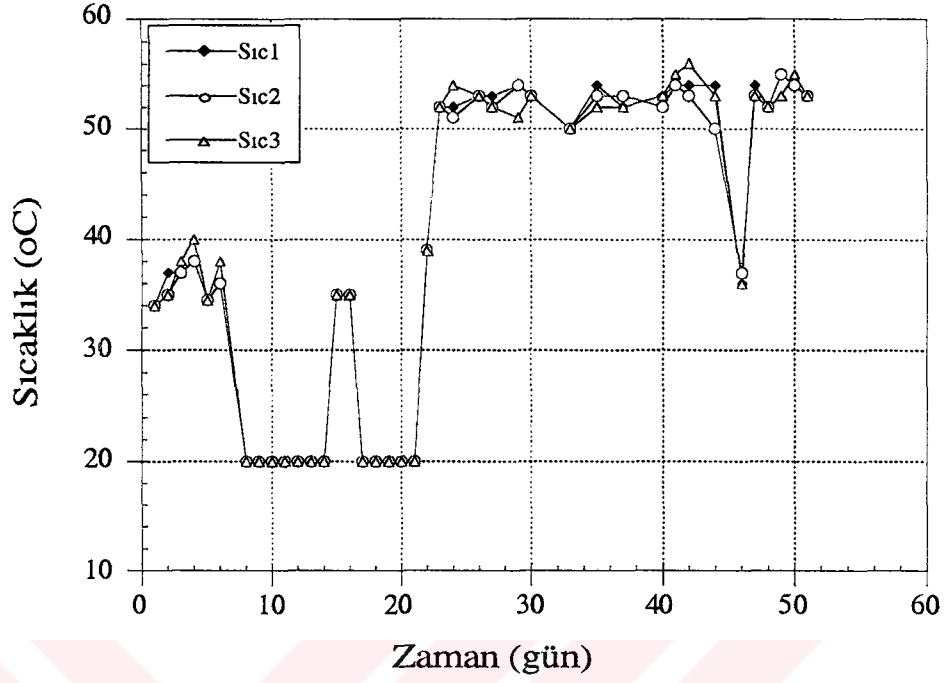
#### 6.1. DENEY SONUÇLARI

##### 6.1.1. Anaerobik Reaktörlerin Devreye Alınması

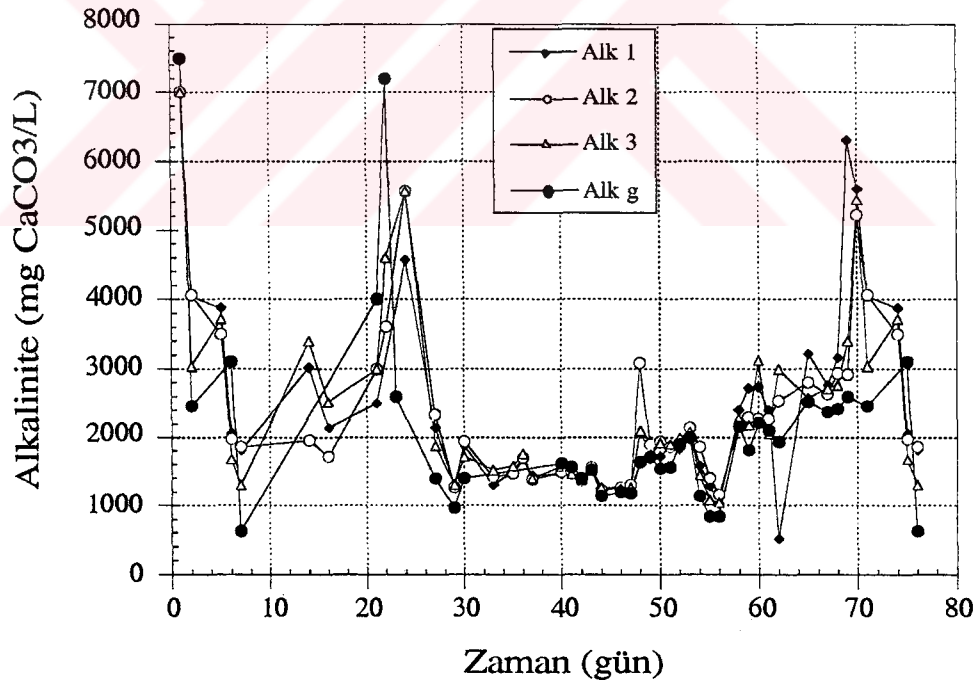
Mezofilik reaktörden alınan aşı çamurunun termofilik şartlara uyumunun sağlanması için reaktör sıcaklığı ilk günlerde 37°C civarında korunmuş, daha sonraki günlerde ani artış yapılarak 53-55°C civarına çıkartılmış ve sürekli olarak bu değerinde tutulmuştur. Devreye alma kademesindeki bu sıcaklık değişimini gösteren değerler Şekil 6.1' de verilmektedir. Ani sıcaklık değişiminin şok etki yapmaması için ilk günlerde 1500 mg/L civarında tutulan besleme çözeltisi KOİ konsantrasyonunun, %50 seyreltilerek 500-1000 mg/L aralığına indirilmesi uçucu yağ asitlerinin düşük seviyelerde kalmasını sağlamış ve pH değeri değişmeyerek reaktör stabilitesi korunmuştur.

Ayrıca, Şekil 6.2' de görüldüğü gibi, reaktör alkalinitesinin 1500 mg CaCO<sub>3</sub>/L' den yüksek tutulması pH' da meydana gelebilecek muhtemel bir değişimi ve bu değişim sonucunda oluşabilecek anaerobik biyokimyasal reaksiyonların dengesindeki bozulmayı engellemiştir. Bu tedbirler neticesinde, Şekil 6.3' te görüldüğü gibi pH' nın genellikle 7.0 civarında kaldığı ve nadiren kısa süreli olmak üzere 6.5' un altına düştüğü gözlenmiştir.

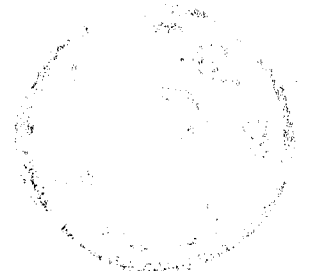
Mezofilik çamurun termofilik şartlara adaptasyonu için yapılan çalışmaların ilk günlerinde KOİ giderme verimi düşük düzeylerde kalmıştır. Buna bağlı olarak biyogaz çıkışı da görülmemiştir. Bu nedenle düşük konsantrasyonlarda besleme, çıkan gaz miktarında artış sağlanana kadar devam ettirilmiştir. Şekil 6.4' te görüldüğü gibi, bir ay kadar sonra daha yüksek arıtma verimi elde edilmeye başlanması ile birlikte gaz çıkışının da olduğu gözlenmiştir. Çıkan gaz hacminin ise organik yüklemeye bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir.



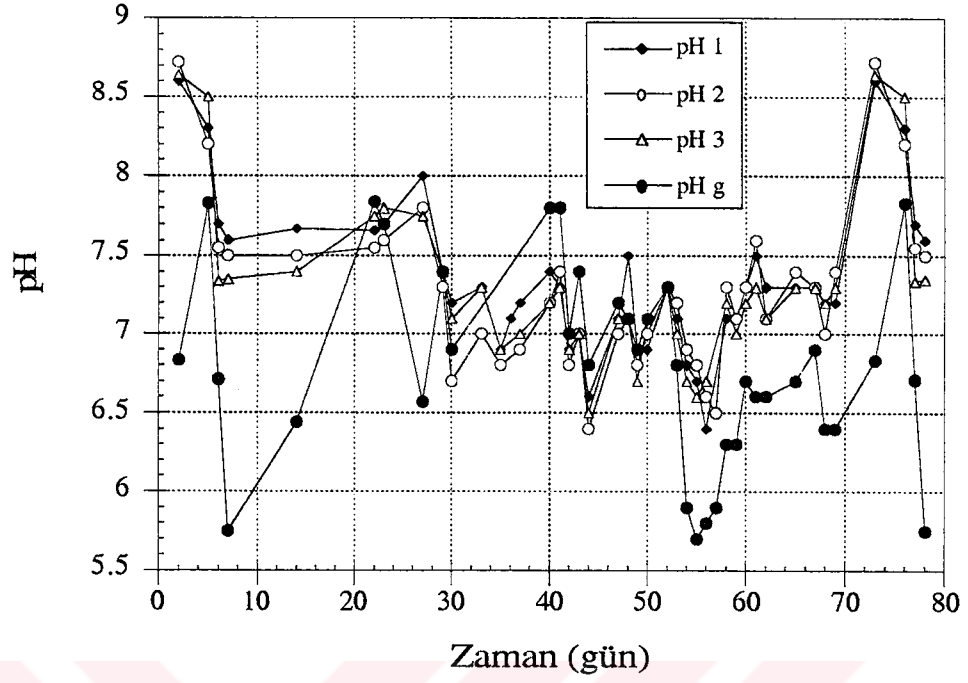
Şekil 6.1. Devreye alma kademesinde reaktörlerdeki sıcaklık değişimi.



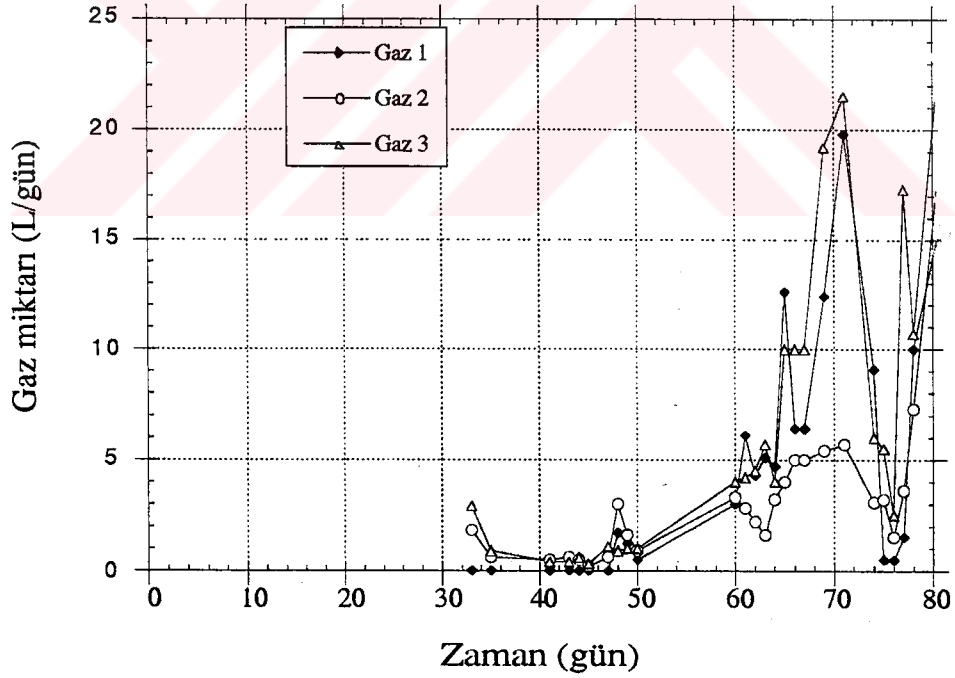
Şekil 6.2. Devreye alma kademesinde reaktörlerdeki alkalinite değişimi.



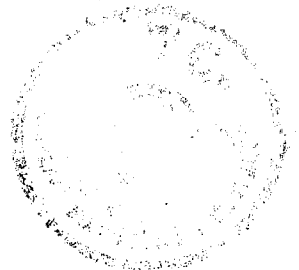




Şekil 6.3. Devreye alma kademesinde reaktörlerdeki pH değişimi.



Şekil 6.4. Devreye alma kademesinde reaktörlerdeki gaz üretimi.



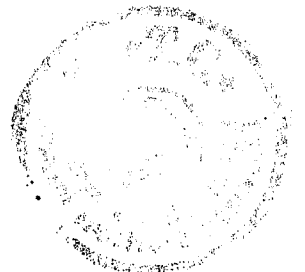
Termofilik arıtmada tipik bir özellik olan, arıtım çıkışı uçucu yağ asidi konsantrasyonunun mezofilik arıtmaya göre yüksek olması düşük yüklemelerde yüksek bir KOİ giderme verimi elde edilememesine sebep olmuştur. İzleyen günlerde KOİ konsantrasyonunun 1500 mg/L değerine yükseltilmesiyle birlikte çıkan gaz miktarının da 10-15 L/gün (0.025 m<sup>3</sup>gaz/kg giderilen KOİ-gün) değerine kadar arttığı görülmüştür (Şekil 6.4). Normal işletme şartlarında reaktör çıkışındaki toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının 500-1000 mg HAc/L düzeyinde olması çıkış KOİ konsantrasyonunun 1000 mg/L civarında kalmasına neden olmuştur. Ancak giriş besleme suyunun KOİ değeri yükseltildikçe çıkış değerlerinin aynı seviyede kalmasına rağmen arıtma veriminin artarak %50 ve daha yukarı değerler almaya başladığı görülmüştür.

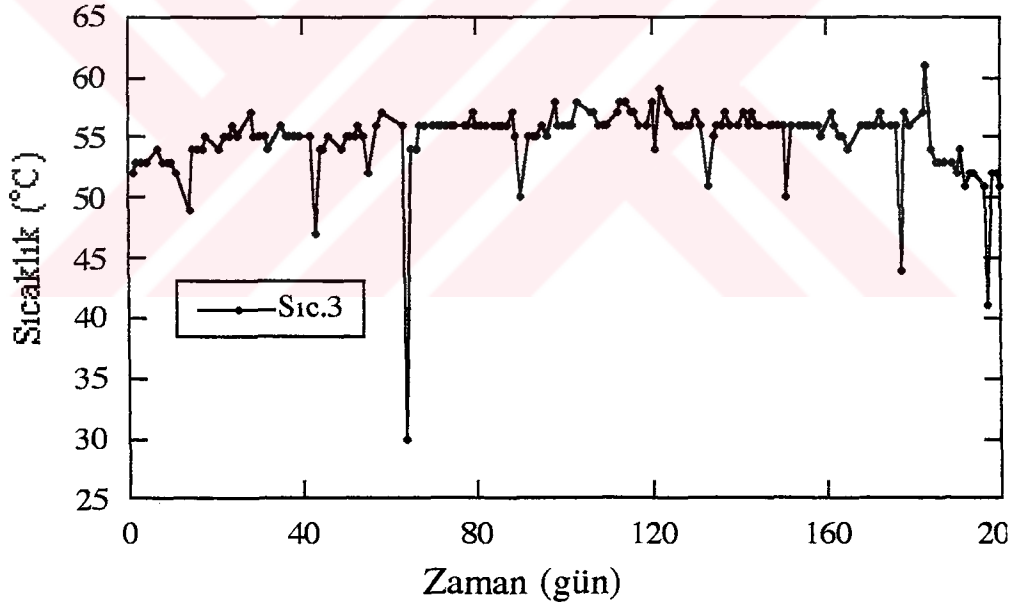
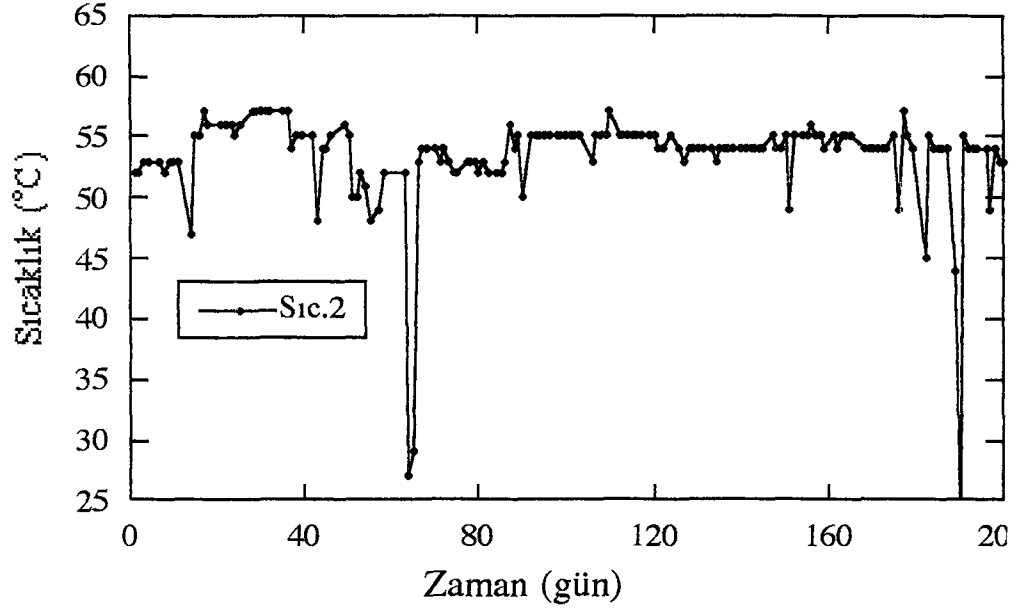
Reaktör çıkışında zaman zaman yüksek uçucu yağ asidi konsantrasyonları (1500-2000 mg/L) saptandığında besleme kesilerek çıkış suyu geri devrettirilmiş ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu düşene kadar bu işleme devam edilmiştir. Düşük pH değerleri saptanan bazı günlerde ilave baz maddesi (NaHCO<sub>3</sub>) konularak reaktör pH' sınıra kadar getirilmiştir. Reaktörlerin sürekli çalıştırılıp izlendiği bu dönemde zaman zaman kısa (saatlik) veya uzun süreli (1-2 gün) elektrik kesilmeleri olmuş, reaktör sıcaklıkları nadiren oda sıcaklığı değerlerine kadar düşmüş olmasına rağmen arıtma verimliliğinde sadece kısa süreli ve geçici etkiler saptanmıştır.

### 6.1.2 Arıtma Verimliliği

Devreye alma kademesini izleyen günlerde arıtma veriminin kararlı (stabil) bir durumda kalması sağlanarak çeşitli günlerde şok yükleme çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar esnasında reaktör verimliliği, Şekil 6.5-6.9'da da görüldüğü gibi genellikle stabil bir durum göstermiştir. Ayrıca, Kısım 5.2' de bahsedilen geçici işletme problemlerinin de reaktör stabilitesinde önemli bir değişiklik meydana getirmediği gözlenmiştir. Deney sonuçlarına ait değerler Tablo Ek2'de verilmektedir.

Şekil 6.5' te görüldüğü gibi, sıcaklık şokları deneyleri yapılmadan önce reaktörlerdeki sıcaklık 55°C civarında tutularak deneylerin kararlı arıtım verimlerinde yapılması sağlanmıştır.





Şekil 6.5. Reaktör 2 ve 3' te sıcaklık değişimi.



### 6.1.2.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Alkalinite Değişimi

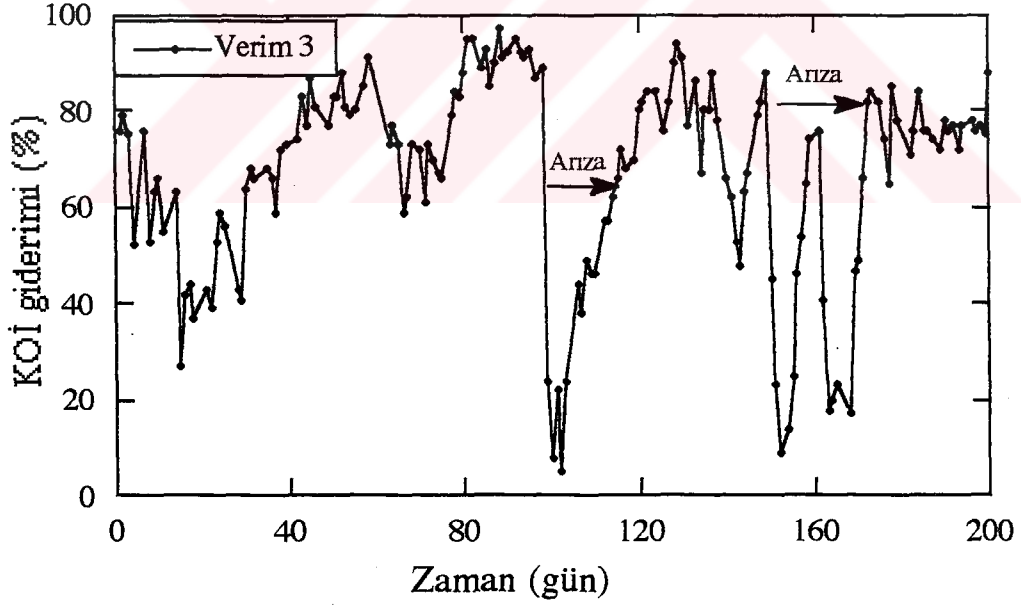
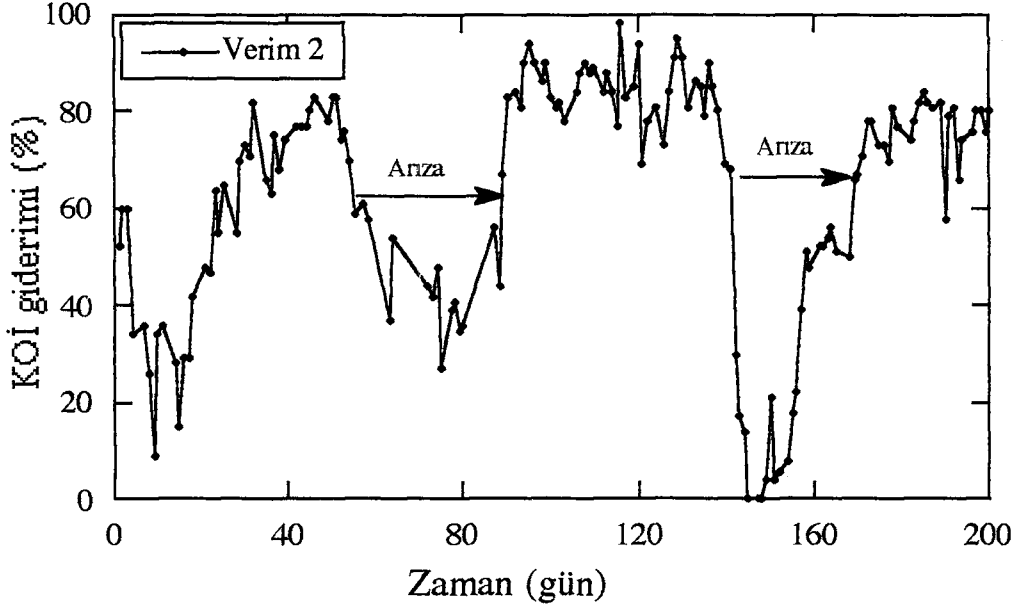
Reaktörlerde elde edilen KOİ giderimi ile ilgili veriler Şekil 6.6' da görülmektedir. Deney çalışmasında atıksuyun giriş KOİ değeri ilk günlerde 2000 mg/lt civarındayken izleyen günlerde reaktör yüklemelerinin artmasıyla birlikte 4500 mg/L' ye kadar yükseltilmiştir. Bu esnada şok yüklemeden dolayı uçucu yağ asitlerinde meydana gelebilecek artışı önlemek amacıyla atıksuyun KOİ değerinin ani olarak artırılmasından mümkün olduğunca kaçınılmaya çalışılmıştır.

Melas, genel olarak asidik karakterli bir maddedir. Anaerobik arıtmada mikroorganizmalar ve bilhassa metanojenik bakteriler pH değişimine karşı çok duyarlı olduğundan pH' nın 6.5 - 7.5 arasında tutulması gerekmektedir. Deney süresince reaktörlerde ölçülen pH değerleri Şekil 6.7' de verilmektedir. Reaktörlerde normal işletme şartlarında çıkış suyundaki alkalinitenin gerekenden biraz fazla ve ortalama 2500 mg CaCO<sub>3</sub>/lt civarında, pH' nın ise genellikle 7-7.5 aralığında olduğu görülmektedir. Alkalinite, 1500 mgCaCO<sub>3</sub>/lt' nin altına indiğinde pH' nın da düştüğü ve sonuçta arıtma verimliliğinde önemli değişiklikler meydana geldiği gözlenmiştir. pH, her iki reaktörde de birkaç defa ani olarak düşünce bu ani pH değişimleri bikarbonat dozaj ayarlaması ile dengelenmiştir. pH'daki ani değişimler alkalinitenin de değişmesine sebep olmaktadır.

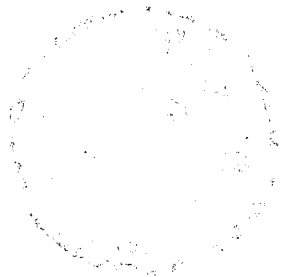
### 6.1.2.2. Uçucu Yağ Asitlerindeki Değişimler

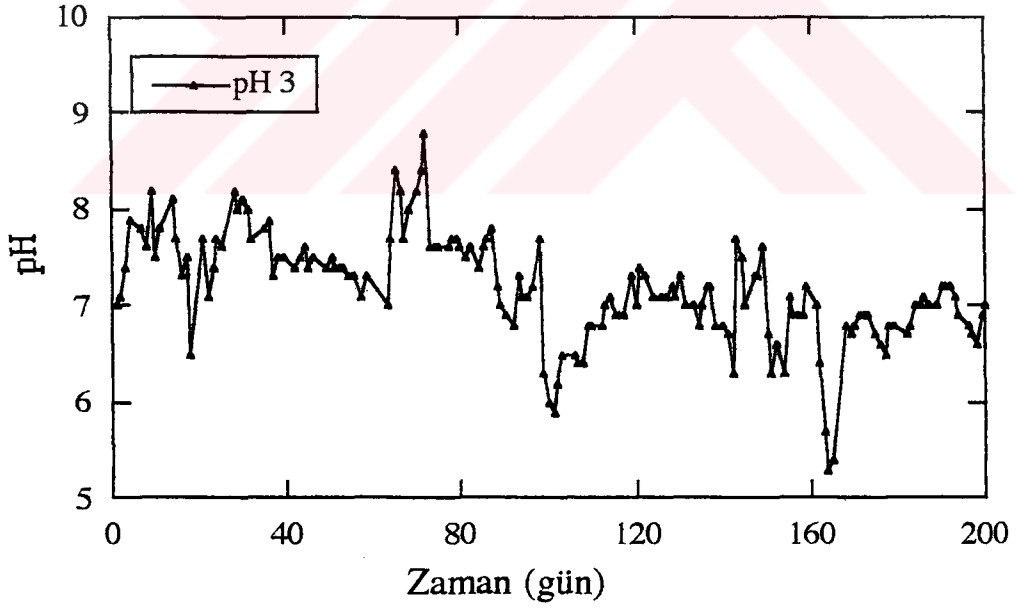
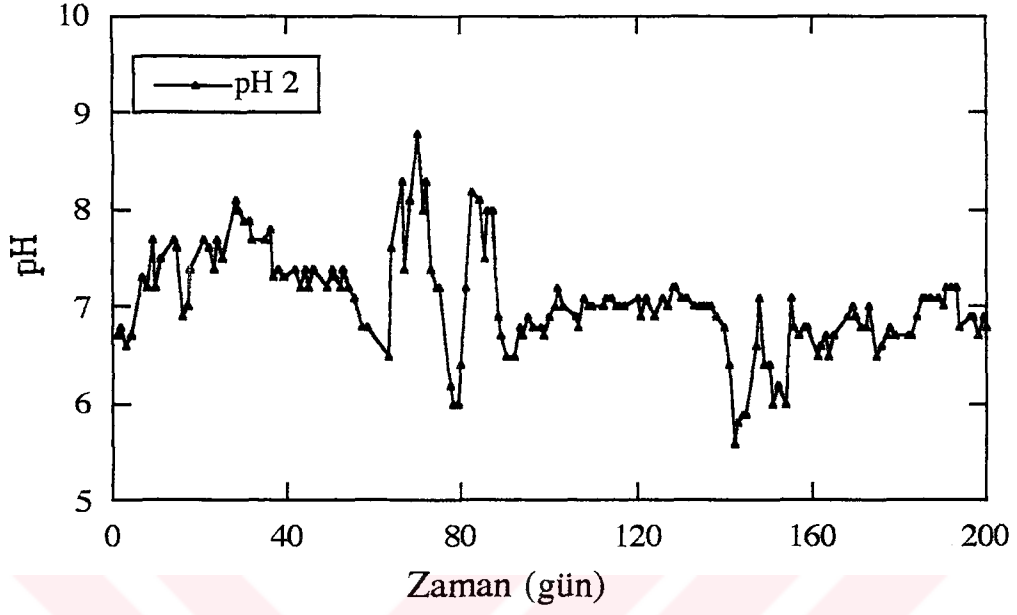
Çalışmalar esnasında uçucu yağ asitleri günlük olarak ölçülmüştür. Uçucu yağ asitleri ile ilgili ölçüm sonuçları Şekil 6.9' da verilmektedir. Uçucu yağ asitleri konsantrasyonunun normal şartlar altında genellikle 800 - 1000 mg/lt arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ani çevresel değişikliklerin olduğu anlarda (besleme artışı, sıcaklık değişimi gibi) uçucu yağ asitleri konsantrasyonunun 2000 mg/lt'nin üstüne çıktığı da görülmüştür.

Eğer ortamda yeterli miktarda uçucu asitleri tamponlayıcı madde bulunduramazsa uçucu asitlerin artması ile birlikte pH düşmeye ve serbest uçucu asit konsantrasyonu daha fazla artmaya başlamaktadır. Bu olumsuzluğu gidermek ve uçucu yağ asitlerinin etkisini azaltmak için reaktör beslemesine uygun miktarda (1 g KOİ için 1 g veya daha fazla) NaHCO<sub>3</sub> eklenmiştir. Böylece iyonlaşmamış uçucu yağ asitlerinin engelleyici (zehirli) etkisinin bertaraf edilmesine çalışılmıştır.

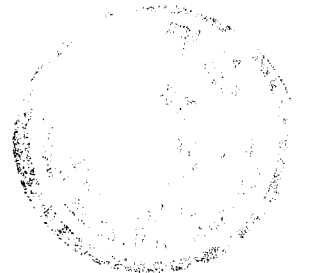


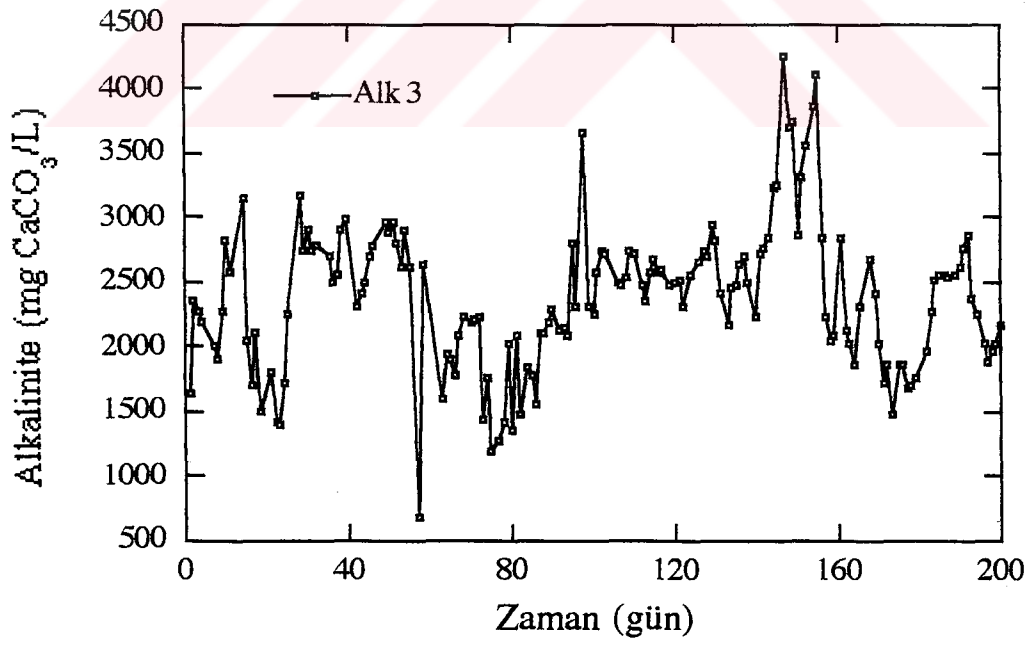
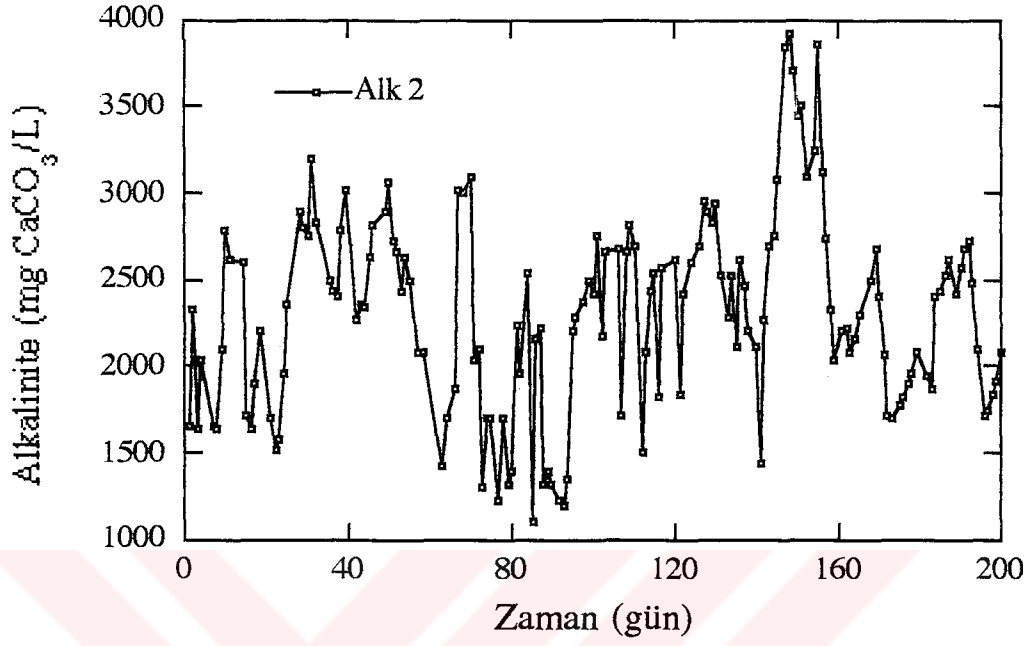
Şekil 6.6. Reaktör 2 ve 3' te KOİ giderimi.





Şekil 6.7. Reaktör 2 ve 3' te pH değişimi.

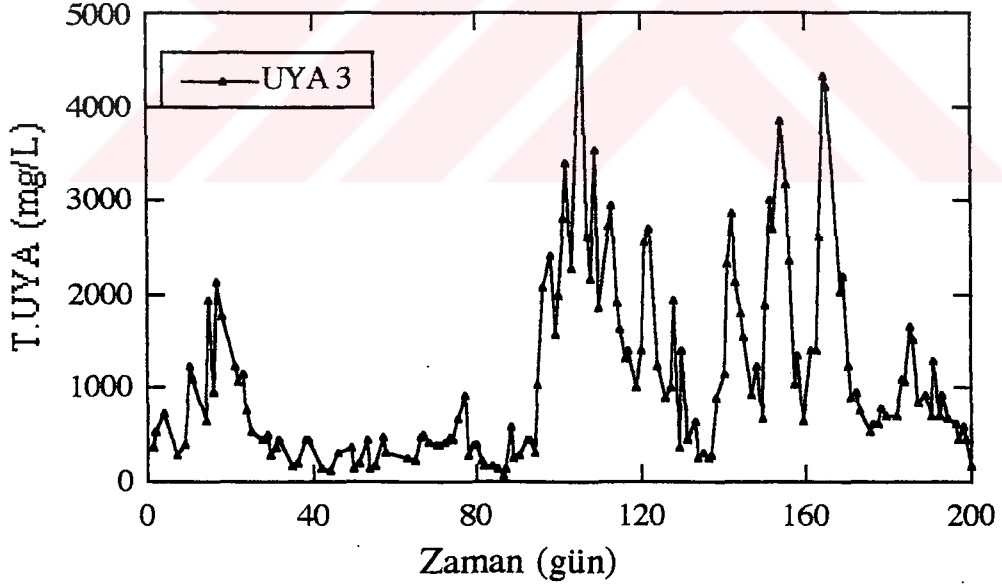
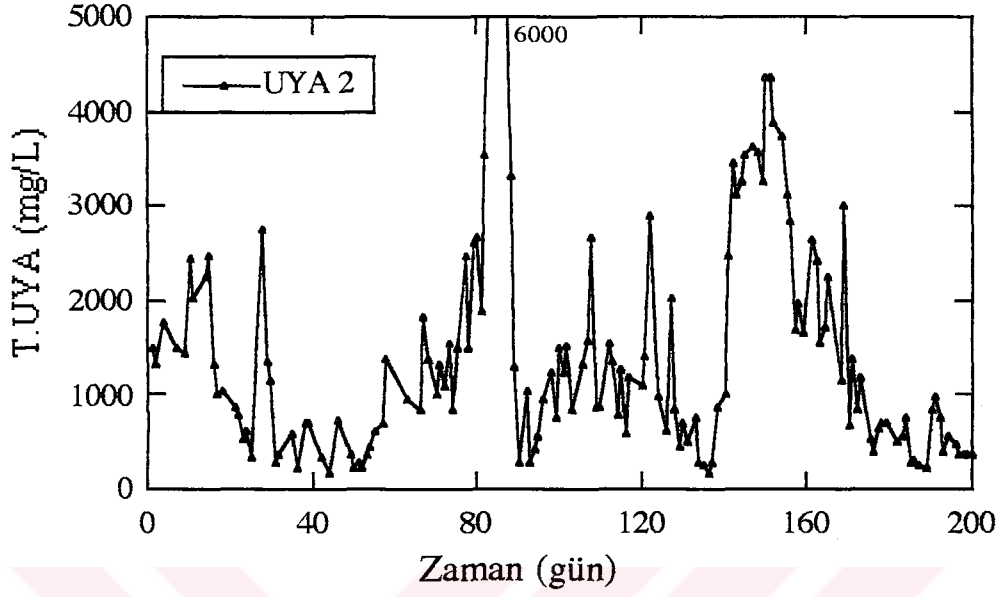




Şekil 6.8. Reaktör 2 ve 3' te alkalinite değişimi.







Şekil 6.9' Reaktör 2 ve 3' te uçucu yağ asidi konsantrasyonu.



Reaktör çıkışında zaman zaman 1500-2000 mg/L' yi geçen yüksek uçucu yağ asidi konsantrasyonları saptandığında besleme kesilerek çıkış suyu geri devrettirilmiş ve uçucu yağ asidi konsantrasyonu düşene kadar bu işleme devam edilmiştir. Reaksiyonlar denge durumuna gelip uçucu yağ asidi konsantrasyonu düşmeye başladığı zaman düşük debilerden başlamak üzere tekrar besleme yapılmıştır. İzleyen günlerde ise uçucu yağ asidi sürekli izlenerek atıksu debisi artırılmıştır. Bu esnada ani değişimlerden kaçınılmıştır.

Reaktörlerin sürekli çalıştırılıp izlendiği bu dönemde de zaman zaman kısa (saatlik) ve nadiren uzun süreli (1 gün kadar) elektrik kesilmeleri olmuş, reaktör sıcaklıkları bazen oda sıcaklığı değerlerine kadar düşmesine rağmen arıtma verimliliğinde sadece kısa süreli ve geçici etkiler saptanmıştır.

Uçucu yağ asidi konsantrasyonunun reaktörde artması metan bakterileri üzerinde engelleyici etki yapmaktadır. Böylece anaerobik reaksiyonlarda son basamak olan metanojen faz tamamlanamadığından dolayı ortamda daha fazla uçucu yağ asidi konsantrasyonu birikmekte ve sonuçta arıtma verimliliğinin azalmasına sebep olmaktadır. Metan bakterilerinin faaliyetini engelleyen madde iyonize olmayan uçucu yağ asididir. Bölüm 4' te, (4.13) denkleminde belirtildiği gibi reaktördeki serbest uçucu yağ asidi konsantrasyonunun, ortamdaki toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonu yanında ortamın pH'sına da bağlı olduğu görülmektedir. Reaktörlerde uçucu yağ asidi konsantrasyonu yüksek olmasına rağmen alkalinite ve pH değerleri yüksek tutulduğu için bahsedilen etki en aza indirilebildiğinden arıtma sisteminin daha kısa bir sürede kararlı duruma dönebildiği görülmüştür. Çünkü bu şartlarda özellikle serbest uçucu yağ asidi konsantrasyonu düşük olduğundan metan bakterileri, yüksek değerlerde olan toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonundan fazla etkilenmemektedir.

Örneğin deney esnasında bazı günlerde toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonu 3000 mg  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{lt}$  gibi yüksek değerlere ulaştığı halde, alkalinitenin yüksek tutulmasından dolayı pH değeri fazla düşmemiş ve 7.0 civarında kalmıştır. Bu durumda serbest uçucu yağ asidi konsantrasyonu (4.13) denklemi ile yapılan hesaplamalara göre 14 mg  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{lt}$  olarak bulunacaktır. Buna göre, iyonize olmamış uçucu yağ asidi konsantrasyonunun engelleyici sınır değerinin (30 - 60 mg  $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{lt}$ ) çok altında kaldığı görülmektedir. Yani sonuçta sadece uçucu yağ asitlerini tek başına (alkalinite ve

pH değerlerine bakılmaksızın) değerlendirmek bir anlam ifade etmemektedir. pH'nın ani olarak özellikle 6.5'in altına düşmesi sonucunda ise uçucu yağ asitleri konsantrasyonlarının ani olarak yükseldiği Şekil 6.9' da bir iki noktada görülmektedir. Bunun aksine pH' nın ani olarak 7.5' in üstüne (yani 8-8.5' a kadar) yükseldiği nadir durumlarda ise uçucu yağ asidi konsantrasyonunda önemli bir değişikliğin olmadığı gözlenmiştir.

### 6.1.2.3. Gaz Ölçümü

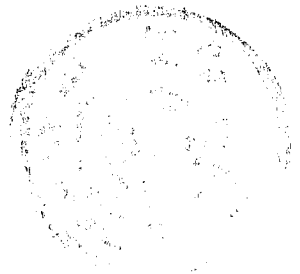
Reaktörden çıkan gaz miktarı günlük olarak ölçülmüştür. Gaz ölçümü ile ilgili sonuçlar Şekil 6.10' da verilmiştir. Şekilden, ölçülen gaz hacminin normal işletme şartlarında 15-25 lt arasında değiştiği görülmektedir. Biyogazın CH<sub>4</sub> oranı genellikle %70 civarında kalmıştır. Verimlilikteki azalmalar gaz oluşumunu büyük ölçüde etkilemiş ve gaz miktarı aniden düşmüştür.

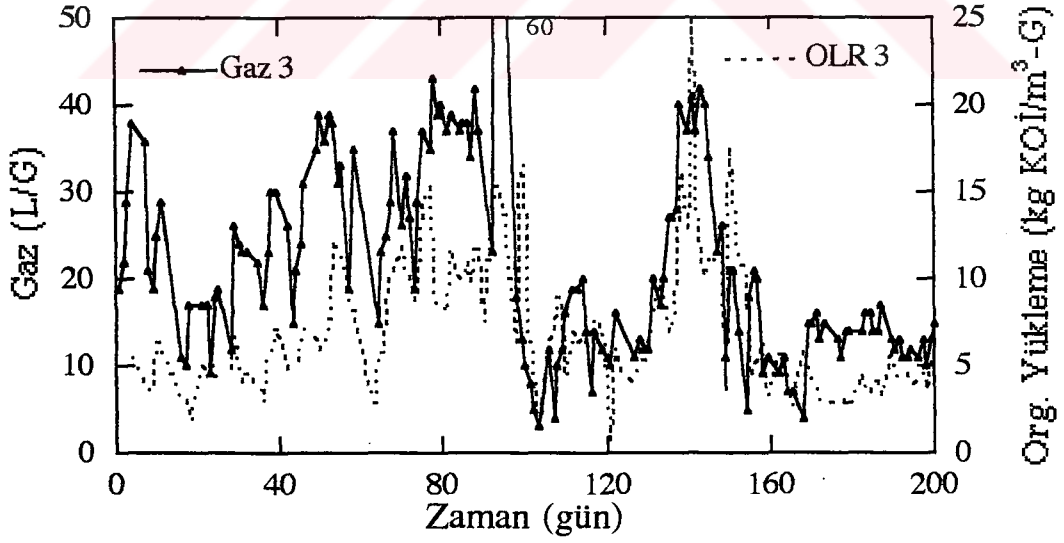
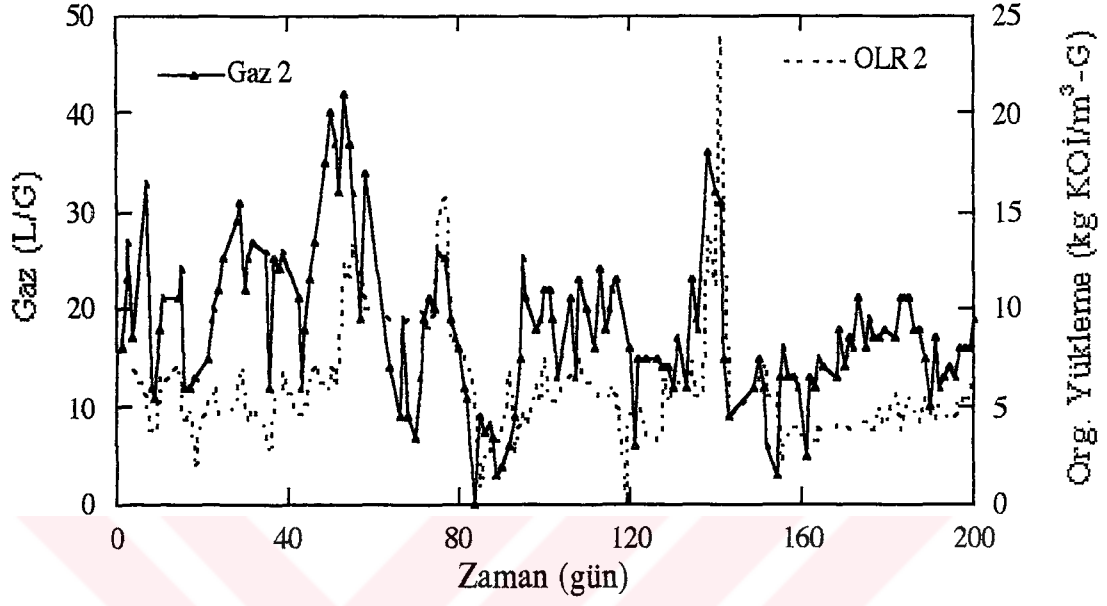
Zaman zaman debi ve konsantrasyonun artırılmasıyla ani olarak değiştirilen atıksu organik yükleme değerlerinde arıtma verimliliğinin düştüğü ve çıkan gaz miktarının azaldığı görülmüştür.

### 6.1.2.4. Organik Yükleme, UYA ve pH İlişkisi

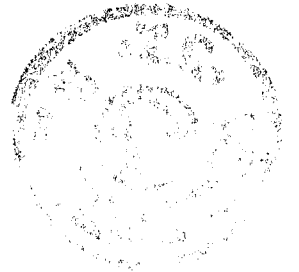
İşletme parametrelerinin birbiriyle karşılaştırılmalı olarak verildiği şekiller Ek Şekil E1-E4' da görülmektedir. Yapılan deneyler neticesinde, organik yükleme oranının sabit olarak korunduğu işletme şartlarında pH' da önemli bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Ancak bazı günlerde uygulanan ani organik yükleme artışlarının uçucu yağ asitlerinin artmasına ve pH'nın ani olarak düşmesine sebep olduğu görülmüştür. Özellikle pH' nın 6.5'in altına düştüğü şartlarda reaktör oldukça verimsiz çalışmaktadır.

pH değeri 6.5'un altına düştüğü zaman, çeşitli alkali ilaveleriyle pH'nın 7.0'nin üzerine çıkarılması dahi işletmenin verimli hale dönmesi için uzun bir süre gerektirmektedir. Çünkü pH düşmesinden dolayı ortamda serbest uçucu yağ asidi konsantrasyonu artmış ve metanojenik bakterilerin faaliyetinin durmasına sebep olmuştur. Dolayısıyla metan bakterilerinin tekrar biyokimyasal reaksiyon dengesine ulaşması uzun bir süre aldığından arıtma verimliliği de uzun süre olumsuz bir şekilde etkilenmektedir.





Şekil 6.10. Reaktör 2 ve 3' te organik yükleme ve gaz miktarı.



Deney reaktörlerinde organik yükleme hızı (OYH) sabit tutulmaya çalışılmışsada zaman zaman besleme borularındaki tıkanmalardan dolayı OYH' de değişimler gözlenmiştir. Bu nedenle organik yükleme oranının bir önceki güne göre artış veya azalış gösterdiği durumlarda pH değeri de değişmiştir. OYH artışının yanında hidrolik şok yükleme de yapılması durumunda ise reaktör stabilitesi bozulmakta ve uçucu yağ asidi artışından dolayı pH 6.5 veya daha düşük değerlere inmektedir.

#### 6.1.2.5. Uçucu Yağ Asidi ve KOI Giderimi Arasındaki İlişki

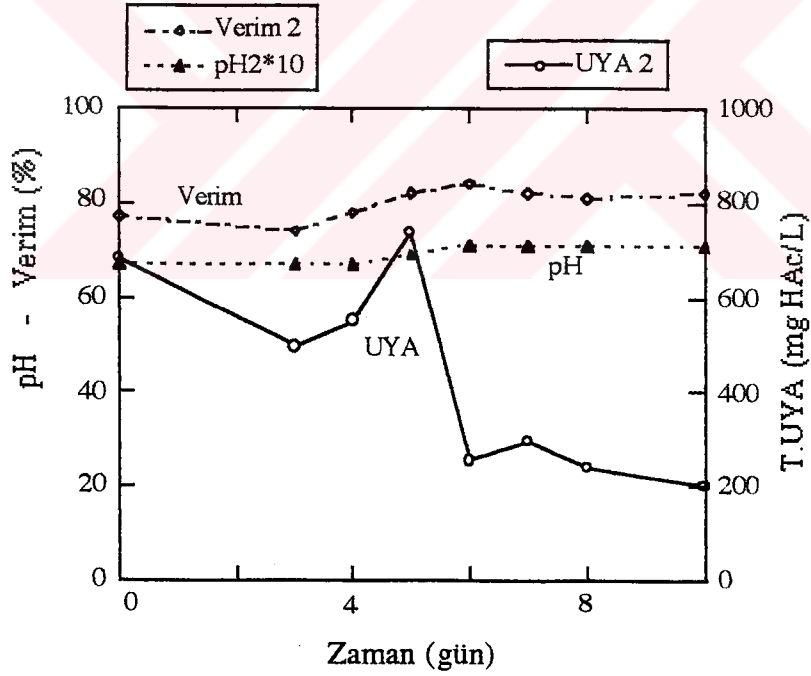
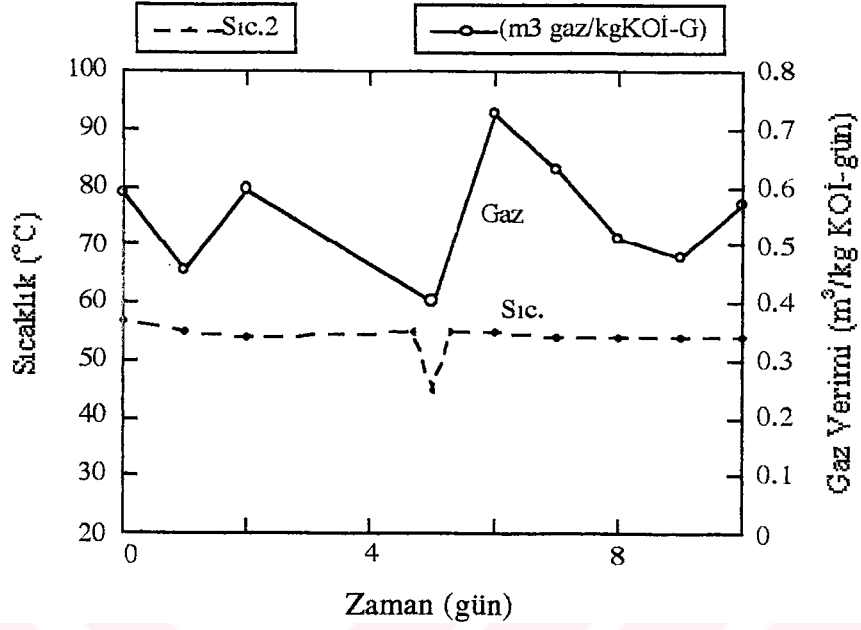
Uçucu yağ asidi konsantrasyonu 800-1000 mgCH<sub>3</sub>COOH/ lt civarında olduğu zaman verimlilik (KOI giderimi) %80-90 arasında değişmektedir. Uçucu yağ asidi konsantrasyonu 2000 mgCH<sub>3</sub>COOH/ lt' yi aştığı zaman anaerobik reaksiyonların engellenmesinden dolayı KOI giderme verimliliği büyük ölçüde düşmektedir. Özellikle uçucu yağ asidi konsantrasyonu 2500 mgCH<sub>3</sub>COOH/lt' yi aştığı zaman verimlilik tamamen azalmaktadır.

Eğer uçucu yağ asidi konsantrasyonu dikkatli izlenir ve zamanında gerekli müdahale yapılırsa, verimliliği birkaç gün içinde normal seviyeye çıkarmanın mümkün olduğu görülmüştür. Buradaki müdahalenin esası pH'nın ayarlanmasıdır. Yani ortama yeterli miktarda alkali maddenin ilavesi ile pH yükseltilerek uçucu yağ asitlerin serbest hale geçmesi önlenir.

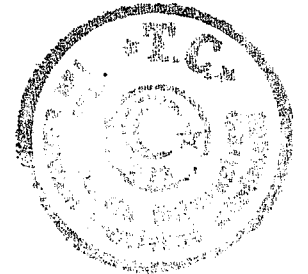
#### 6.1.3. Kısa Süreli Sıcaklık Şokları

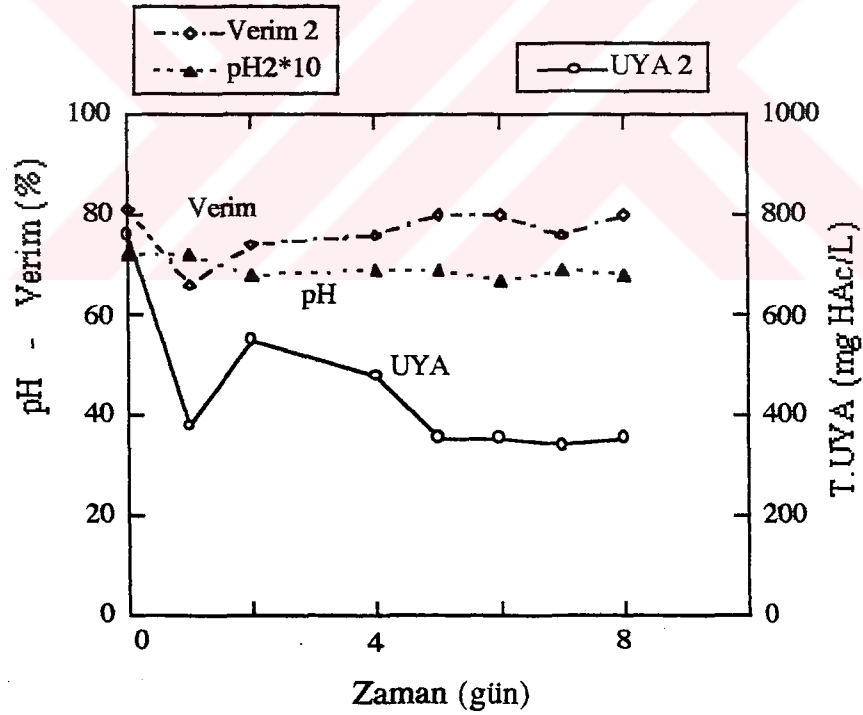
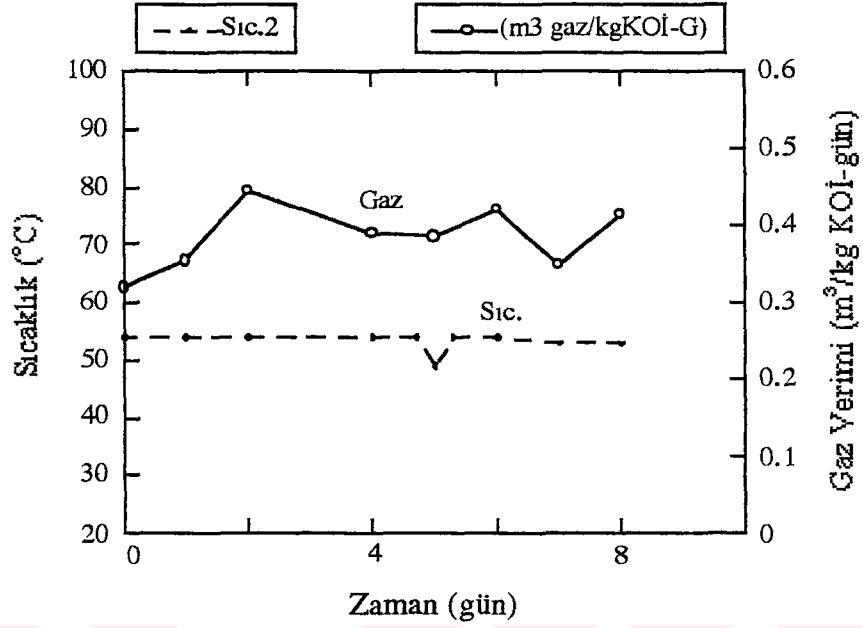
Kısa süreli sıcaklık şoklarının yapıldığı deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 6.11-6.17' de verilmektedir. Organik yükleme ve hidrolik bekletme süresinin belirlenen değerlerde sabit tutulduğu stabil şartlarda reaktör verimlerinin % 80-90 civarında kaldığı saptanmıştır. Sıcaklık şoklarının yapıldığı günlerde ise şekillerden de görüldüğü gibi, ani sıcaklık azalmasından dolayı UYA, pH, KOI giderme verimi açısından reaktörlerde önemli bir değişiklik olmazken, biyogaz üretimi ani olarak düşmektedir. Şok etki kaldırılıp reaktör sıcaklığı ilk değerine yükseltince ise gaz üretimi hızla artmaktadır (Şekillerdeki veriler günlük ölçüldüğünden gaz üretimindeki düşüşler azalan eğri olarak gözükmemektedir).





Şekil 6.11. 90°C' lik sıcaklık şoku. (OYH=6 ve HBS=0.9 gün)

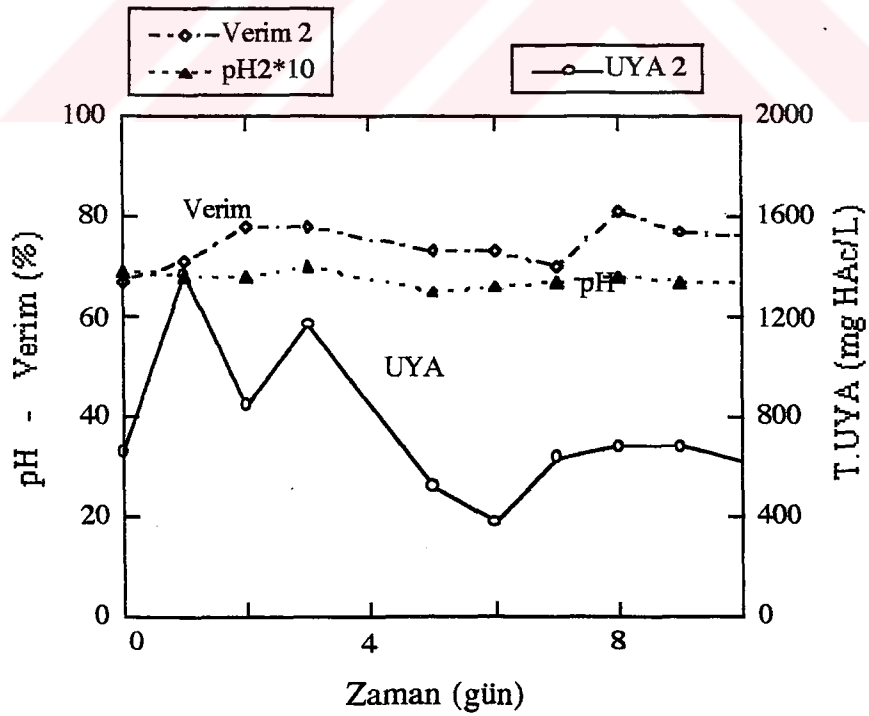
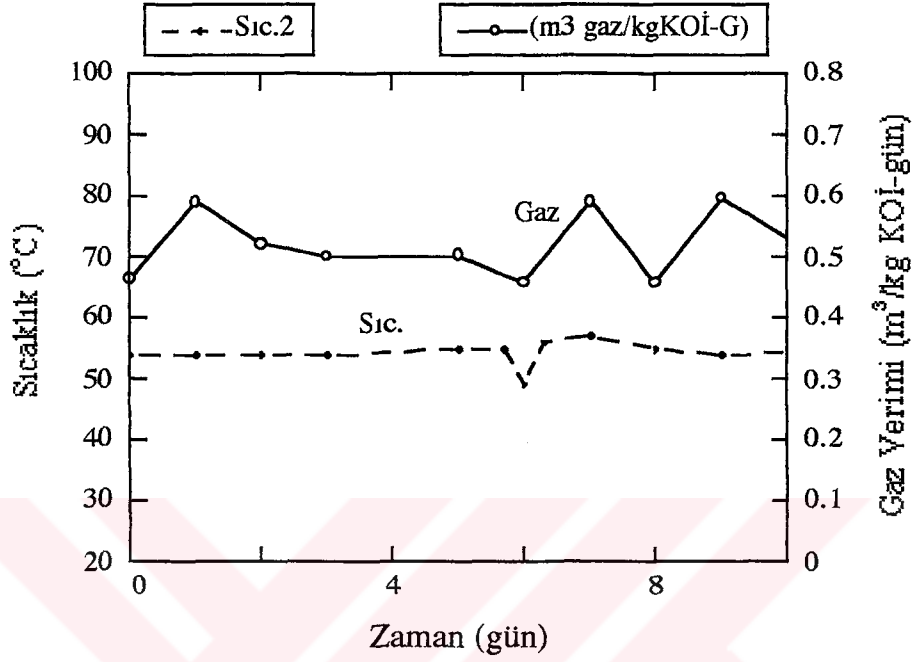




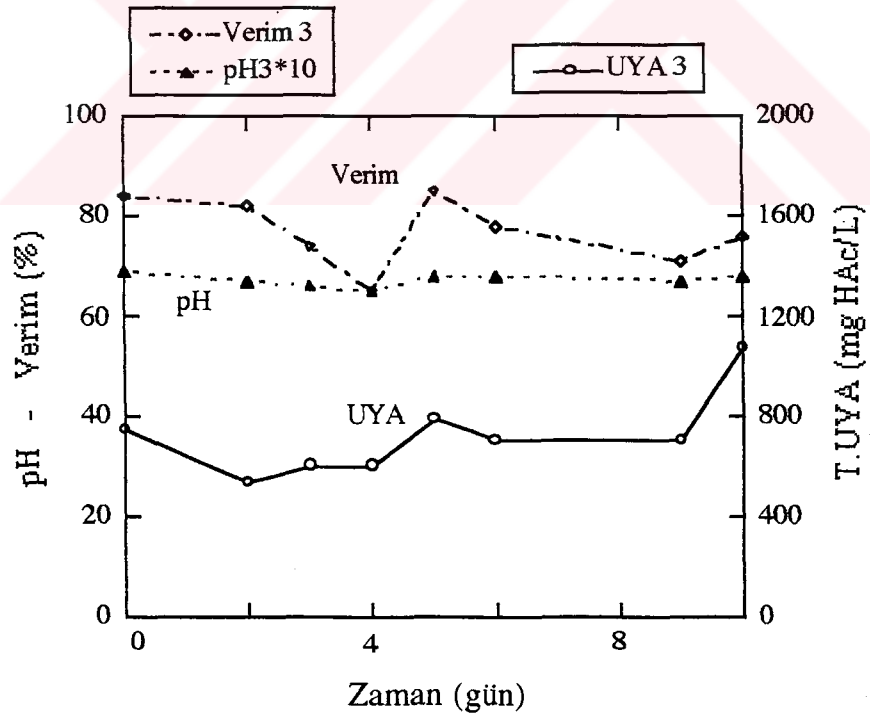
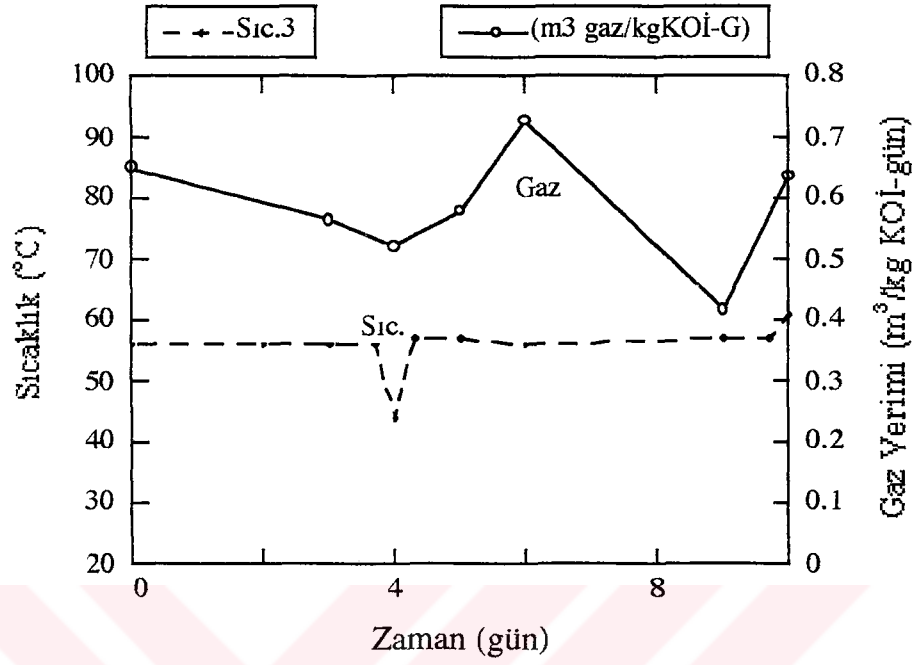
Şekil 6.12. 6°C' lik sıcaklık şoku. (OYH=5.6 ve HBS=1.0 gün)





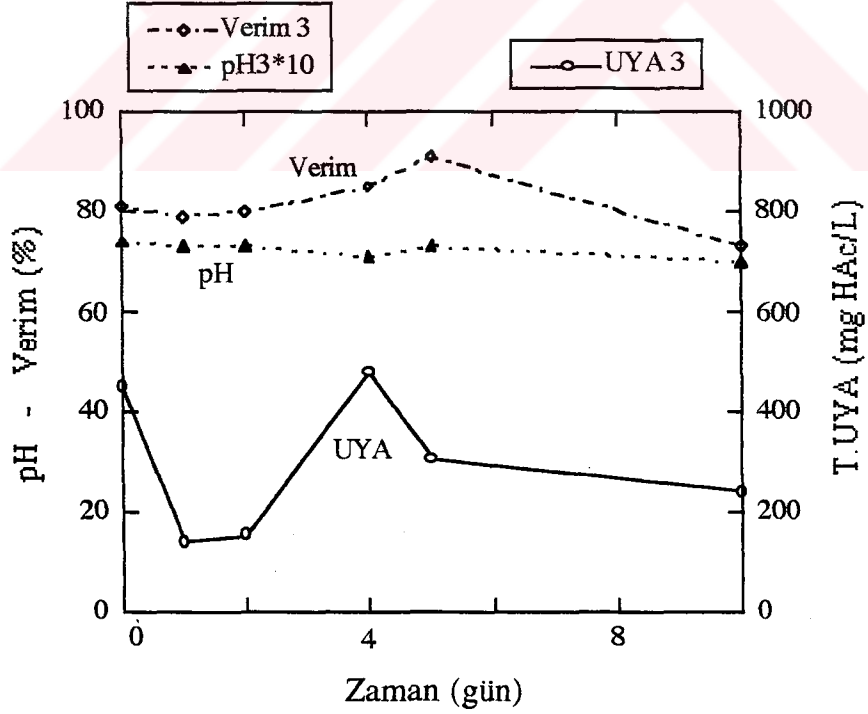
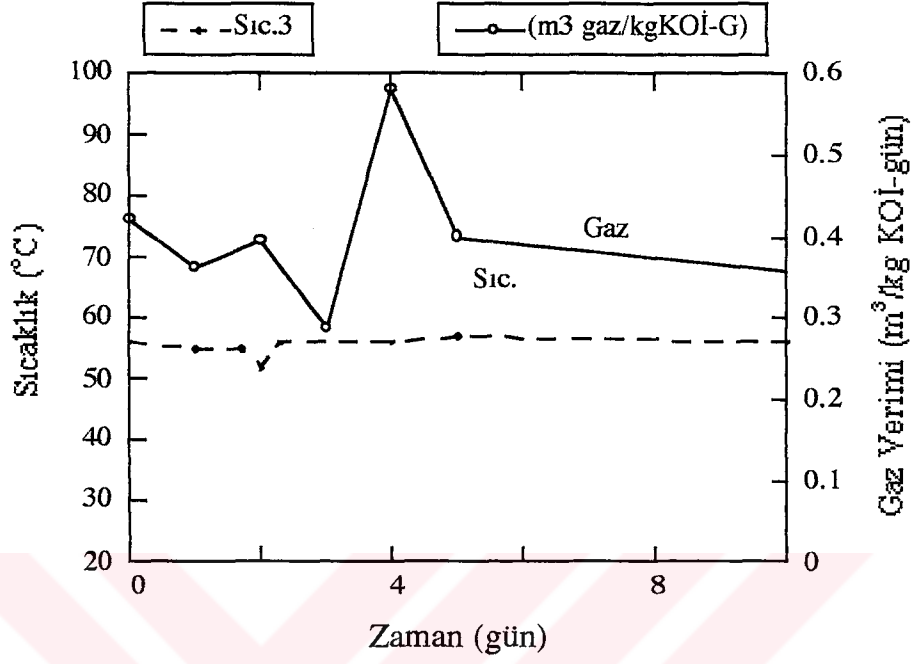


Şekil 6.13. 70°C' lik sıcaklık şoku (OYH=4 ve HBS=1.0 gün)

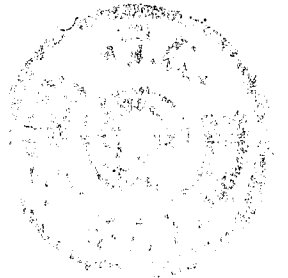


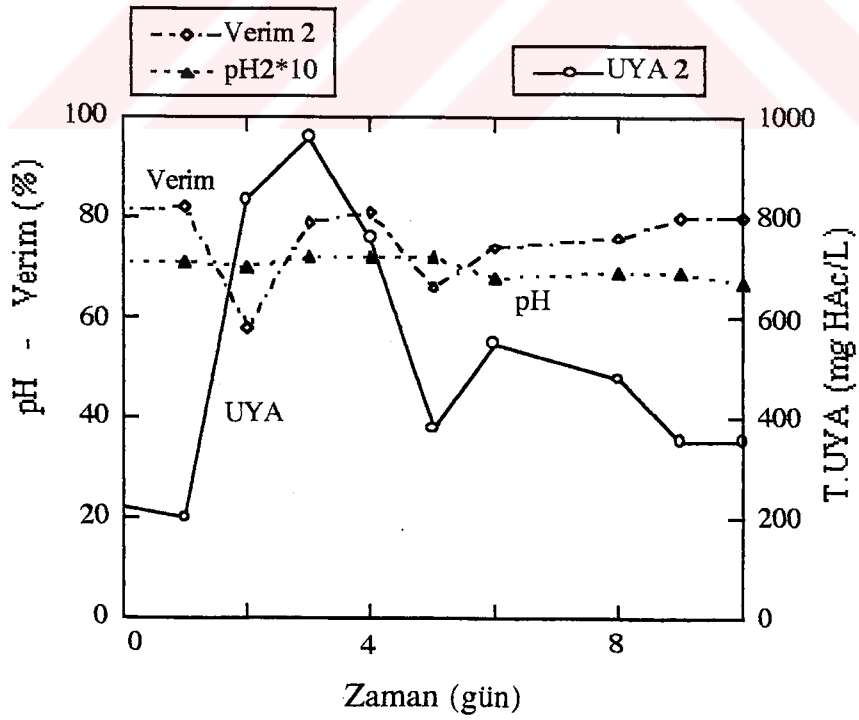
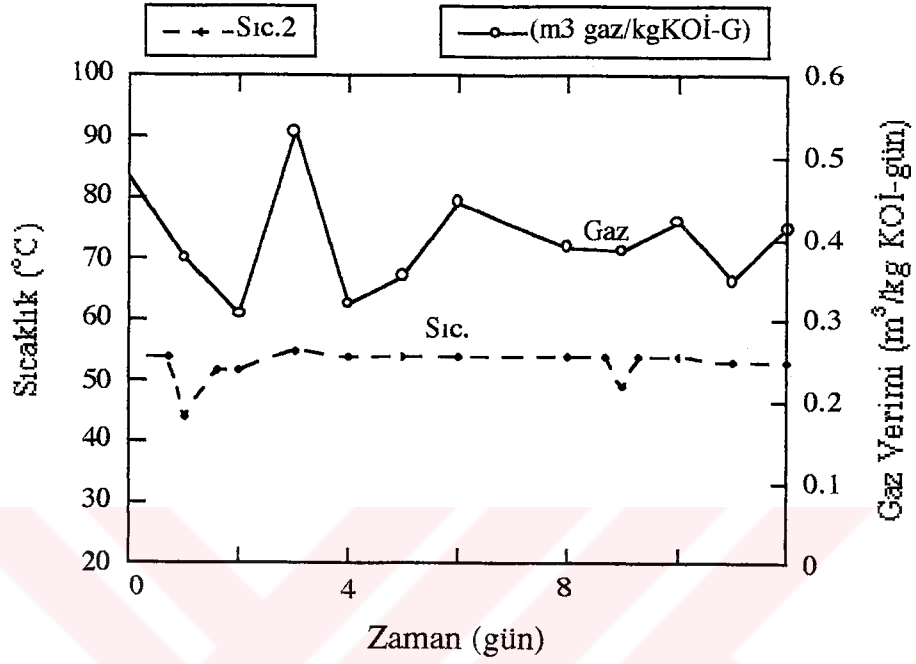
Şekil 6.14. 9 °C' lik sıcaklık şoku. (OYH=4 ve HBS=1.0 gün)





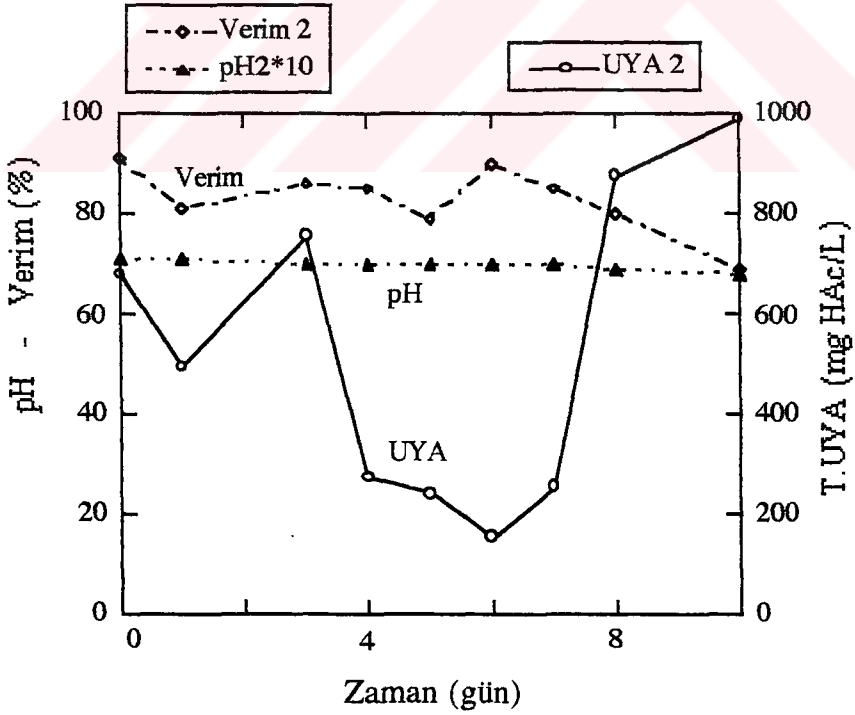
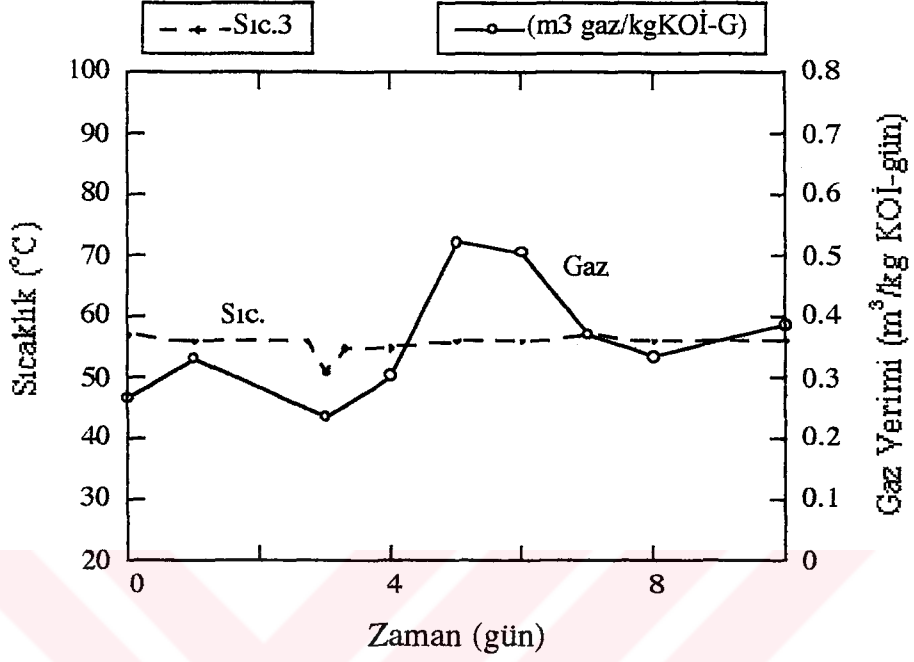
Şekil 6.15. 50°C'lik sıcaklık şoku. (OYH=11.3 ve HBS=0.5 gün)





Şekil 6.16. 6°C' lik sıcaklık şoku. (OYH=5 ve HBS=0.8 gün)





Şekil 6.17. 6°C' lik sıcaklık şoku. (OYH=7 ve HBS=0.7 gün)



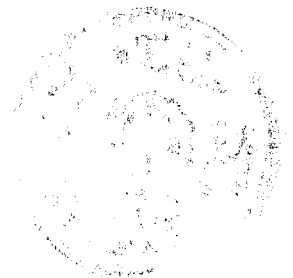
Yapılan çalışmada sıcaklık şoklarının uygulandığı saatlerde meydana gelen ani değişimler incelenmemiş, sadece günlük ölçümler dikkate alınmıştır. Çünkü reaktör ortamında meydana gelen değişimler günlerle ifade edilebilecek uzun sürelerde etkili olabilmektedir. Ayrıca, uygulamada anaerobik reaktörlerin işletilmesinde de çok pahalı olan otomatik kontrol sistemleri ile birkaç parametre kontrol edilebilmekte, diğer işletme parametrelerine ise uzun süreli aralıklarla müdahale imkanı mümkün olmaktadır.

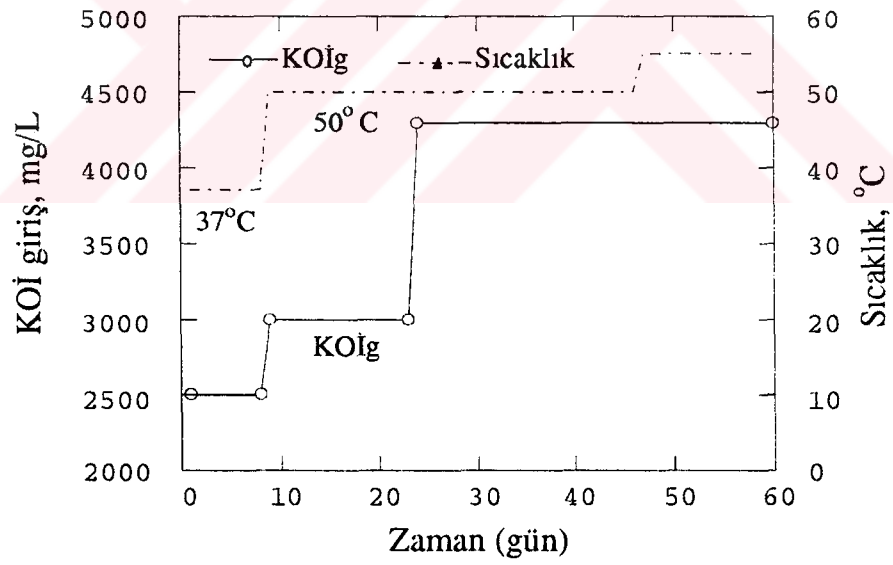
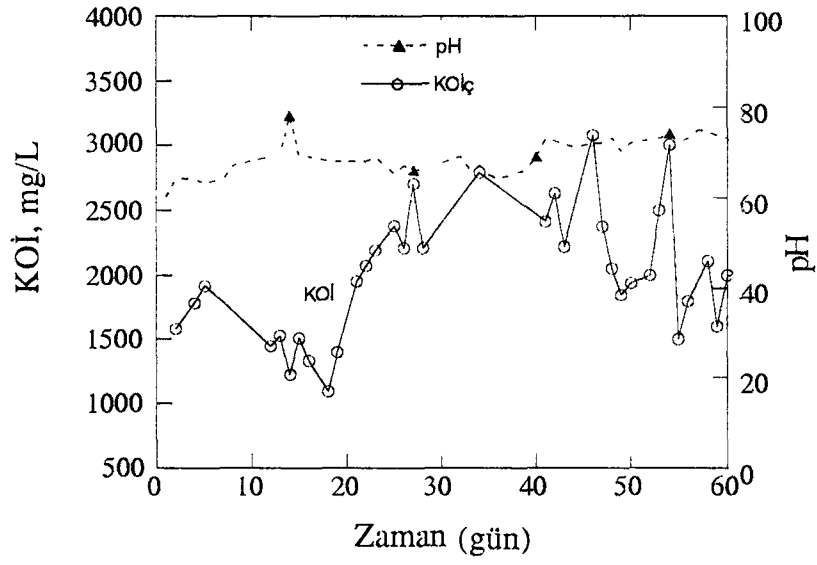
Kısa süreli sıcaklık şokları sonucunda arıtma veriminde bir dengesizlik oluşmadığından uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının günlük ölçümlerinde yükselme görülmemiş ve genellikle konsantrasyonlar 1000 mg/L' nin altında kalmıştır. Değişik organik yükleme hızlarında ve bekletme sürelerindeki sıcaklık şoklarında netice olarak benzer değişimler elde edilmiş, ancak genel bir sonuç olarak bilhassa belirli organik yükleme veya düşük bekletme sürelerinden sonra meydana gelen etkilerin daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, etki derecesi reaktör ortamının şok öncesindeki stabilite durumuna da bağlı olmaktadır.

#### **6.1.4. Sıcaklık Değişimi ve Uçucu Yağ Asitlerine Etkisi**

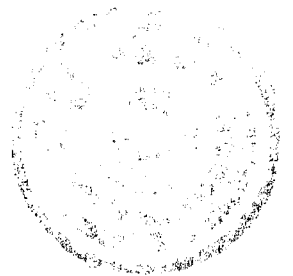
Deney reaktörlerinde değişik organik yükleme ve bekletme zamanlarında yapılan kısa süreli sıcaklık şoklarından sonra yeni bir çalışma yapmak amacıyla yeniden devreye alınan deney reaktöründe, sıcaklığın kademeli olarak artırılması esnasında elde edilen sonuçlar Şekil 6.18' de, uçucu yağ asidi konsantrasyonu değişimi ise Şekil 6.19' da verilmektedir.

Şekil 6.19' da da görüldüğü gibi reaktör sıcaklığı 50°C' de tutulurken toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonu 1500-2000 mgHAc/L arasında değişmektedir. Sıcaklık 55°C' ye çıkartılınca bu değer 700-1200 mgHAc/L aralığına kadar inmiştir. Bu durum çalışılan şartlarda termofilik arıtmada 55°C civarının en uygun sıcaklık olduğunu ortaya koymaktadır. Reaktörde faaliyet gösteren mikroorganizmalar 55°C'de çoğaltılmış bakteri türleri olduğundan, bu sıcaklık dışındaki koşullarda faaliyetlerini tam olarak gerçekleştirememektedirler.

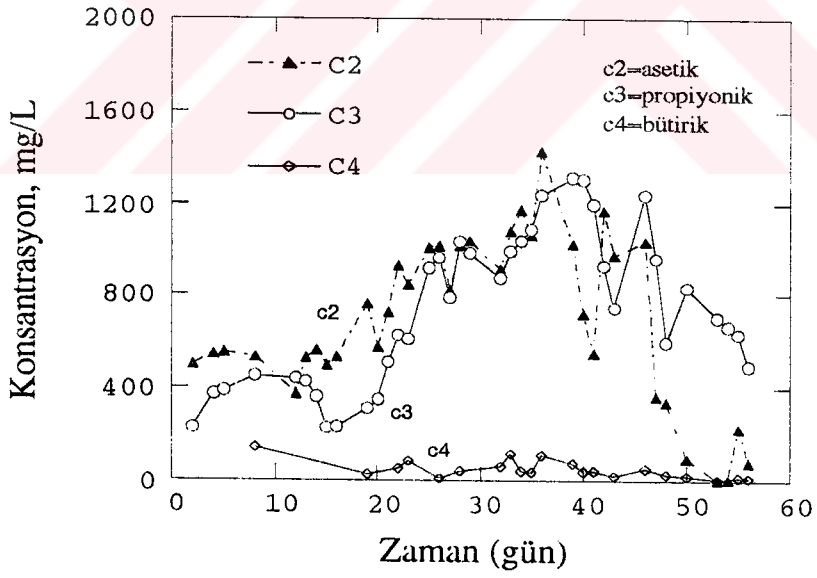
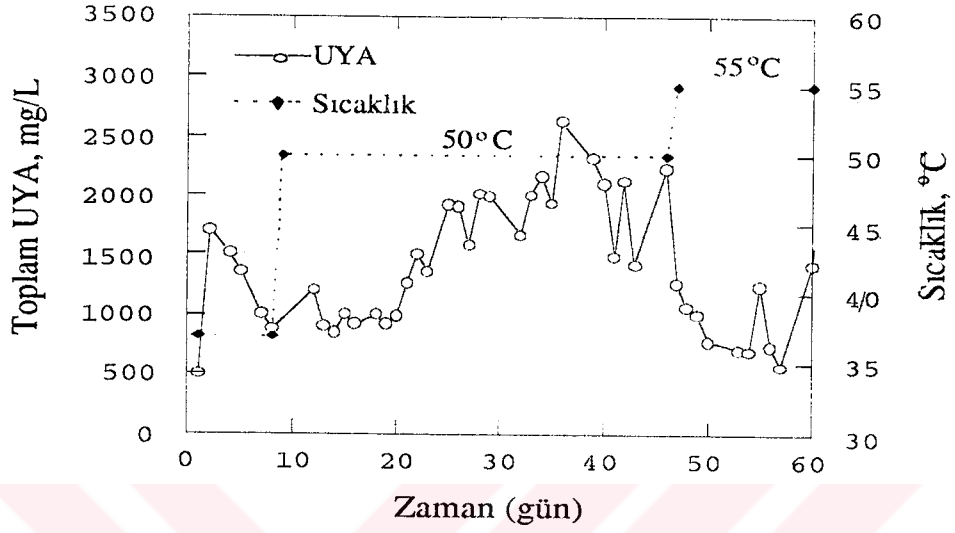




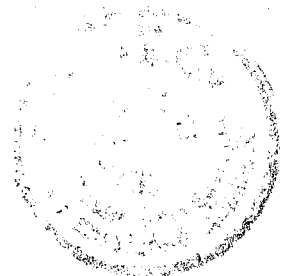
Şekil 6.18. Reaktörde farklı sıcaklıklardaki işletme parametreleri.







Şekil 6.19. Uçucu yağ asitlerindeki değişim.



### 6.1.5. Şok Organik Yüklemeler

Deney reaktörlerinde çeşitli hidrolik bekletme sürelerinde uygulanan organik yükleme şokları sonucunda elde edilen veriler Şekil 6.20 ve 6.21'de gösterilmiştir.

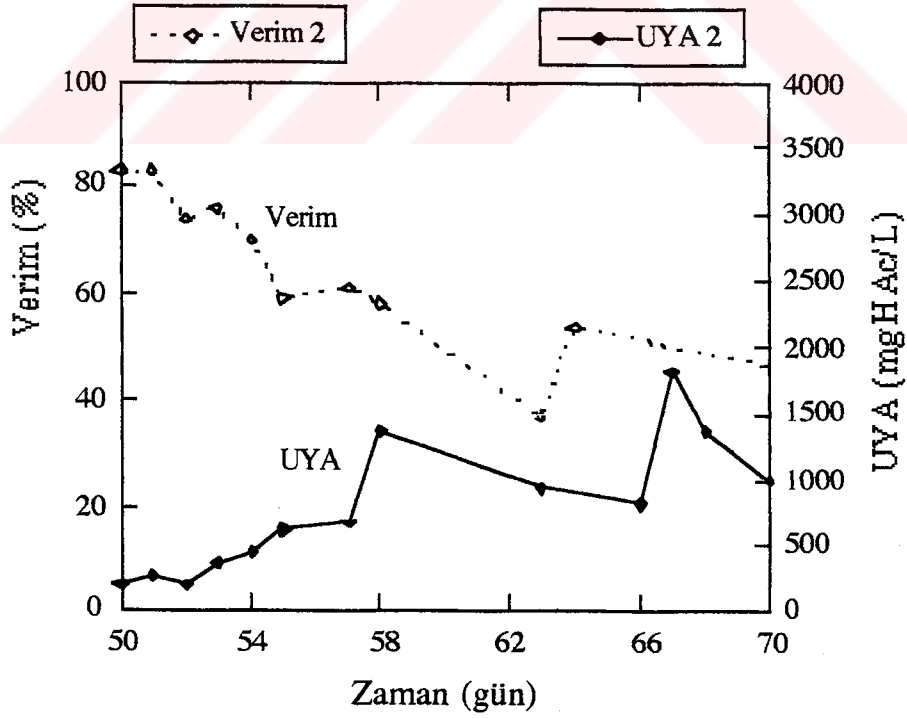
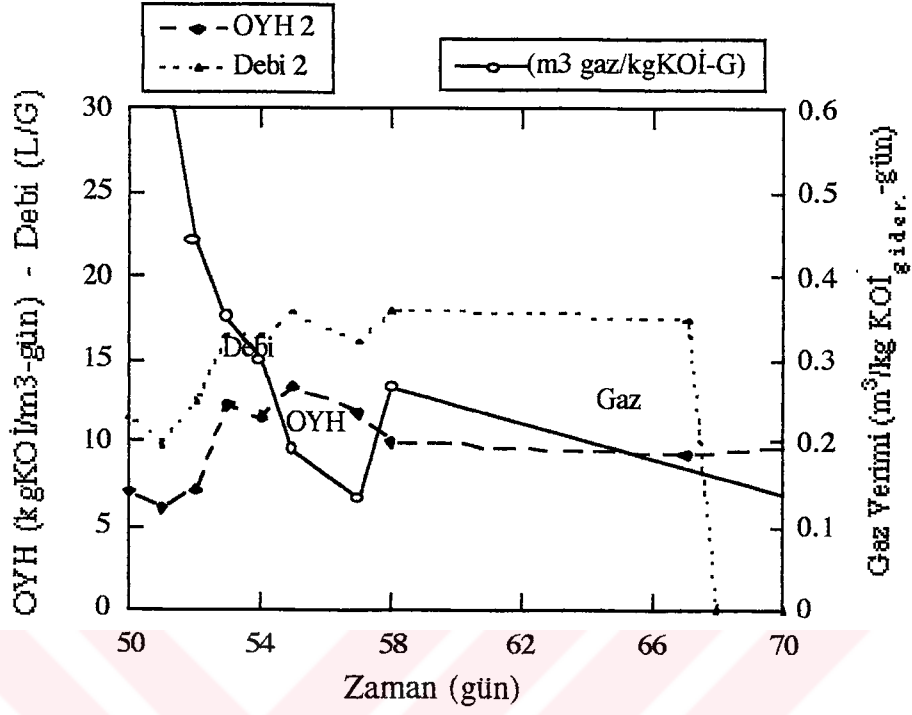
Reaktör 2' de şok değişimler 53, 75 ve 141.nci günlerde uygulanmıştır. 53.günde debi ve organik yükleme hızı (OYH) artırılarak şok yapılmış ve aynı gün uçucu yağ asidi (UYA) konsantrasyonunun artmaya, verimin ise azalmaya başladığı görülmüştür. 58 ve 62.nci günler arasında bir arızadan dolayı besleme yapılamadığından reaktör kendiliğinden dengeye ulaşmıştır.

İkinci organik yükleme şokunun yapıldığı 75.günde debi ve OYH, 1.5 kat artırıldığından UYA konsantrasyonu aynı gün 2500 mg/L' ye yükselmiş, verim % 40' lara kadar düşmüştür. Bu durumda 80.günden itibaren besleme kesilip geri çevrim yapılmaya başlanmıştır. 4 gün süren geri beslemenin UYA konsantrasyonunda azalma meydana getirmediği, aksine 3.günde UYA' nın 6000 mg/L' ye kadar yükseldiği görülmüştür. 5.günde geri devir kesilerek reaktör düşük OYH' da beslenmeye başlandığında gaz verimi ani bir hızla artmış ve üç gün içinde UYA konsantrasyonu 1000 mg/L' ye düşmüş, verim değeri % 90' ın üzerine çıkmıştır.

Bir diğer yük şokunun yapıldığı 141.günde debi yaklaşık sabit tutulurken giriş KOİ konsantrasyonu 2.5 kattan fazla artırılarak organik yükleme şoku yapılmıştır. Yine şekilde görüldüğü gibi verim aniden düşmüş ve UYA konsantrasyonu hızla artmıştır. 144.günde geri çevrim başlatılarak reaktör iyileştirilmeye çalışılmış ve sonuç alınamayınca debi ve organik yükleme azaltılarak reaktörün stabil hale gelmesi sağlanmıştır. Fakat bir arızadan dolayı 151.günde 60°C' lik kısa süreli bir sıcaklık şoku da meydana gelince UYA konsantrasyonunun azalması 157.güne kadar uzamıştır.

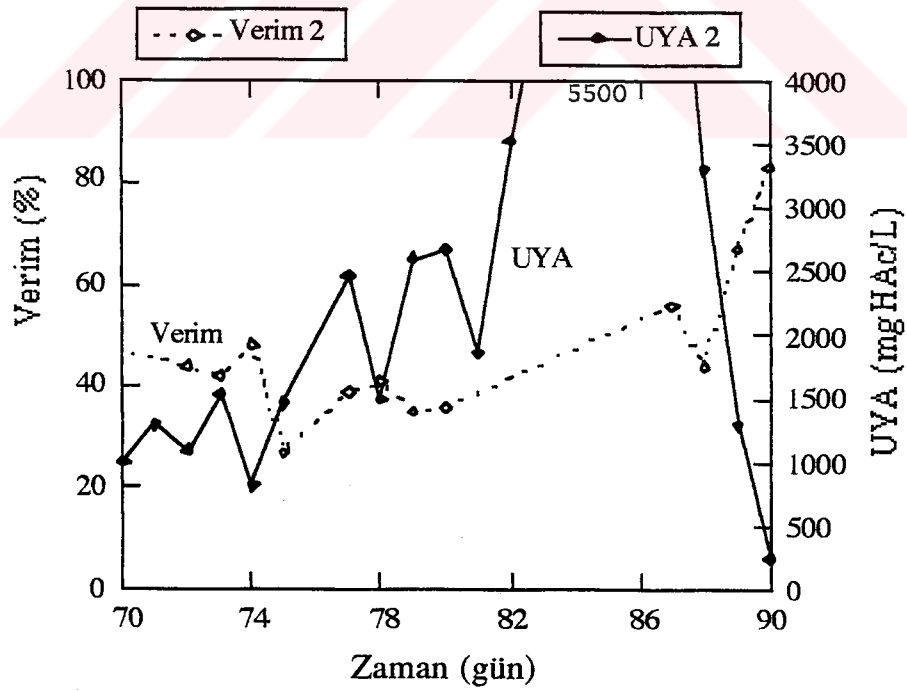
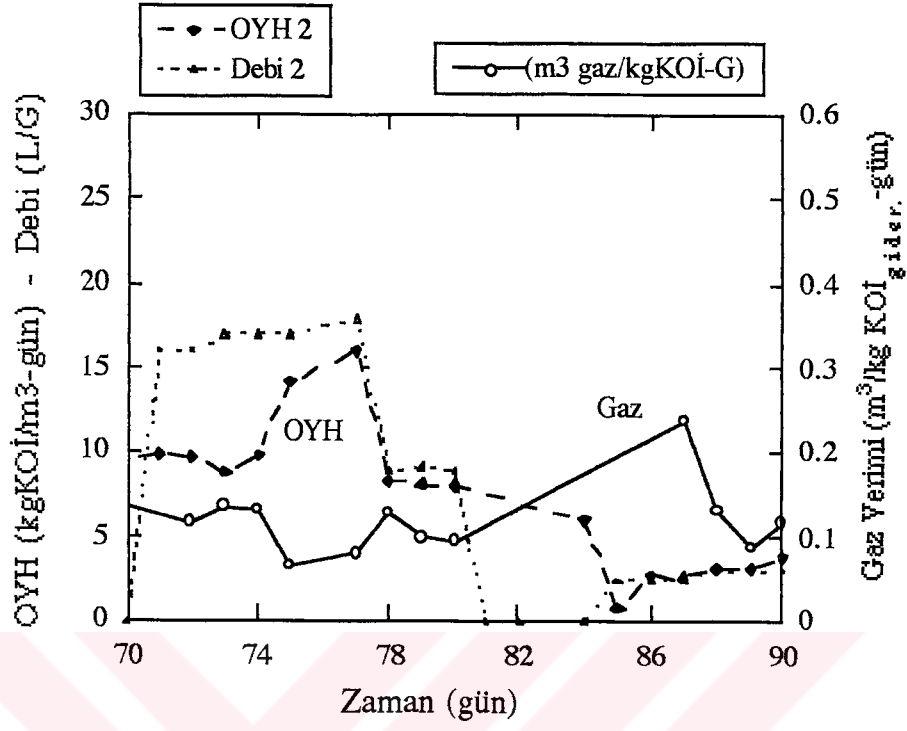
Reaktör 3' te yapılan organik yük şokları sonucunda elde edilen veriler ise Şekil 6.21' de görülmektedir. 75.günde OYH' nın 1.5 kat kadar artırılmasına rağmen UYA konsantrasyonunda artma meydana gelmemesi ve gaz veriminin düşük olması, aynı günlerde uygulanan yüksek hidrolik yükten dolayı reaktöre daha düşük konsantrasyonda atıksu girmesinden kaynaklanmaktadır. 78.günde hidrolik ve organik yükler azaltılınca verim % 95 gibi yüksek değerlere kadar artmış ve UYA konsantrasyonları çok düşük değerlere kadar ayrıştırılabildiği için gaz veriminde de artış görülmüştür.





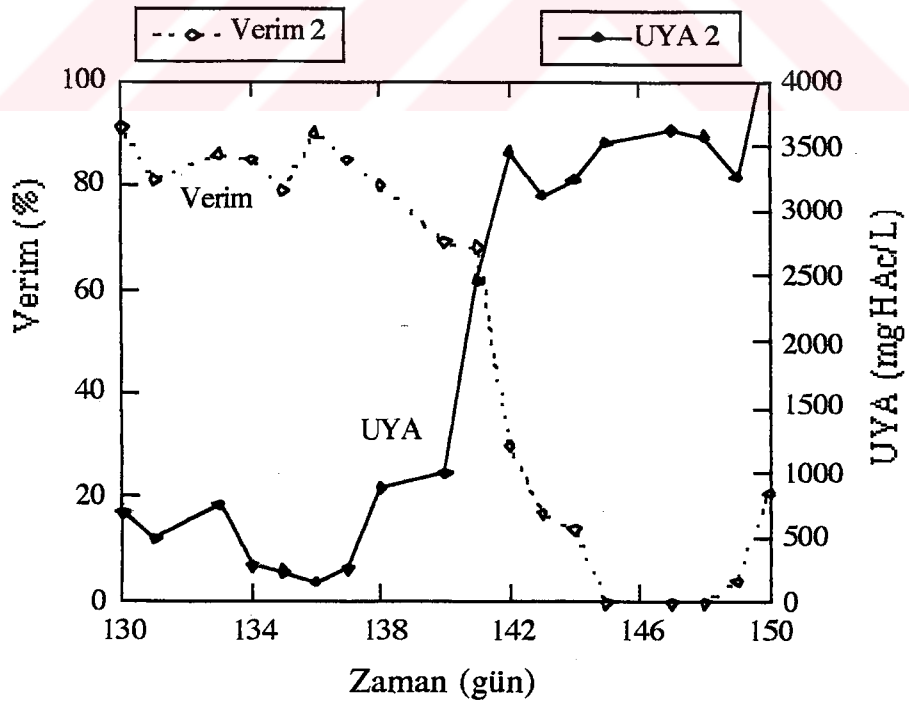
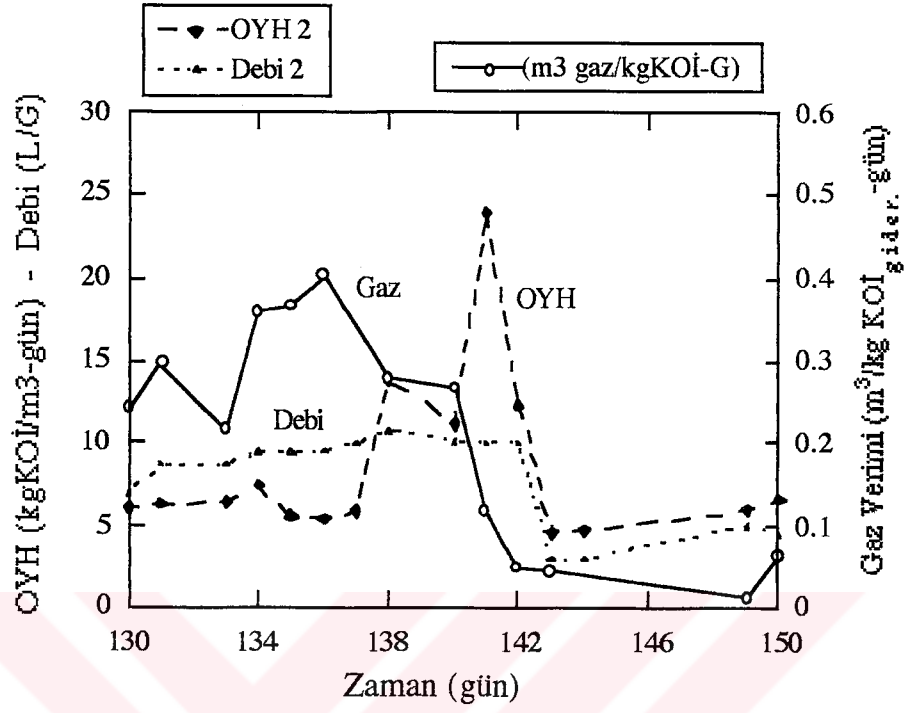
Şekil 6.20. Reaktör 2' deki organik yükleme şokları



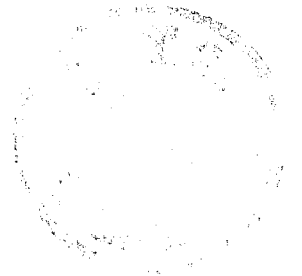


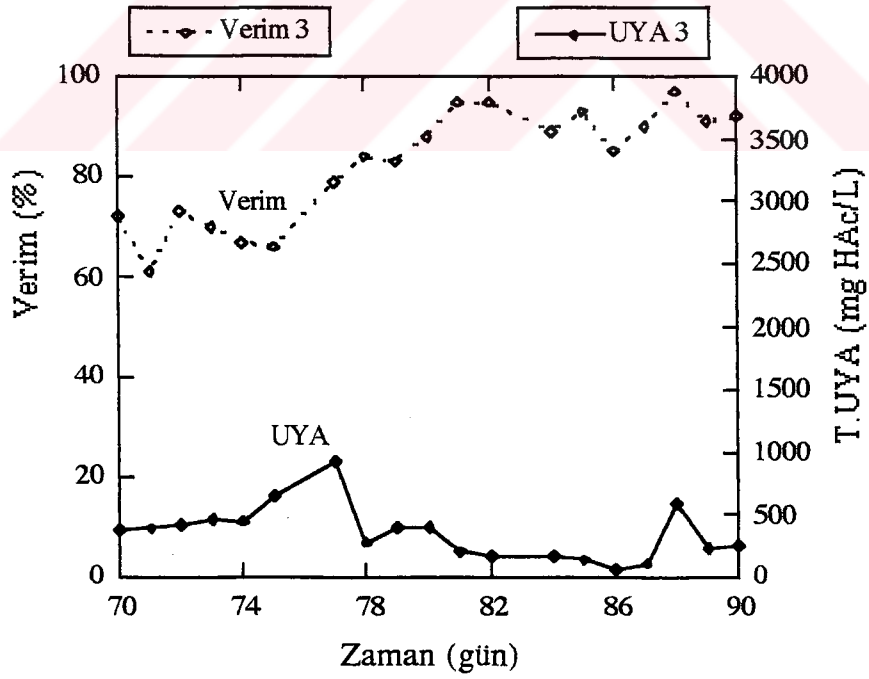
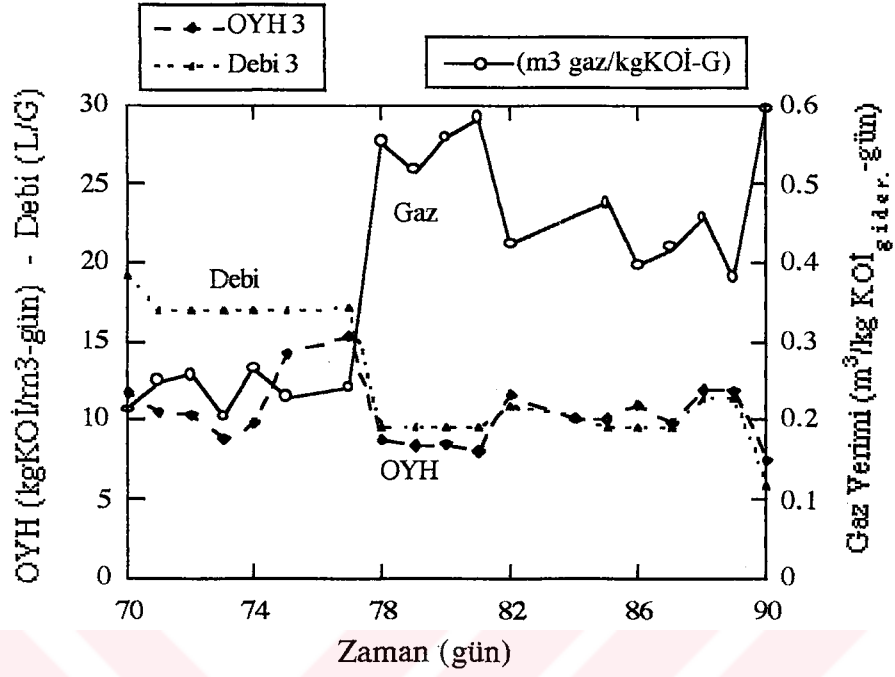
Şekil 6.20. (Devam)



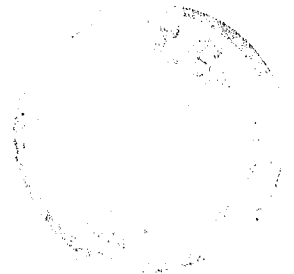


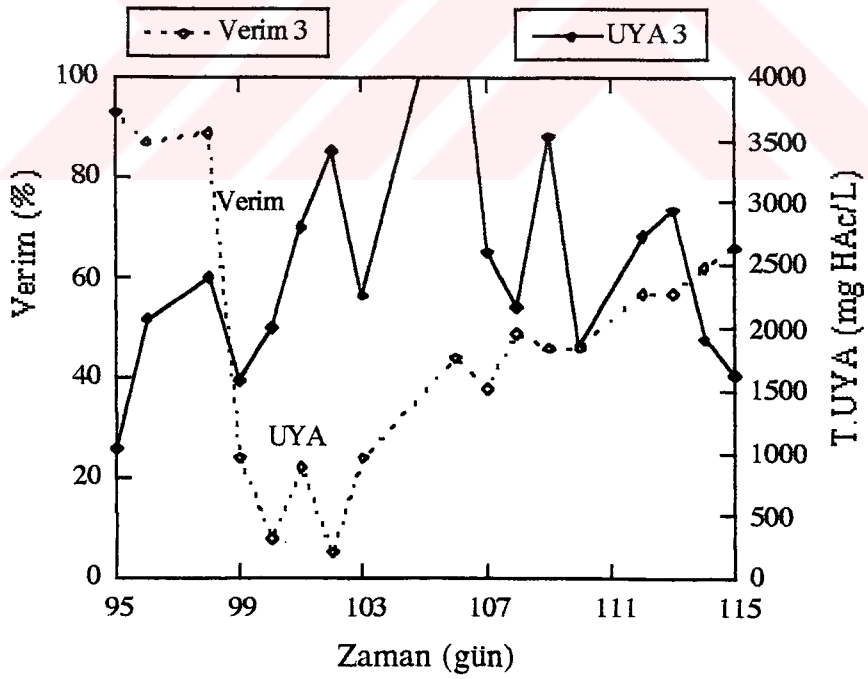
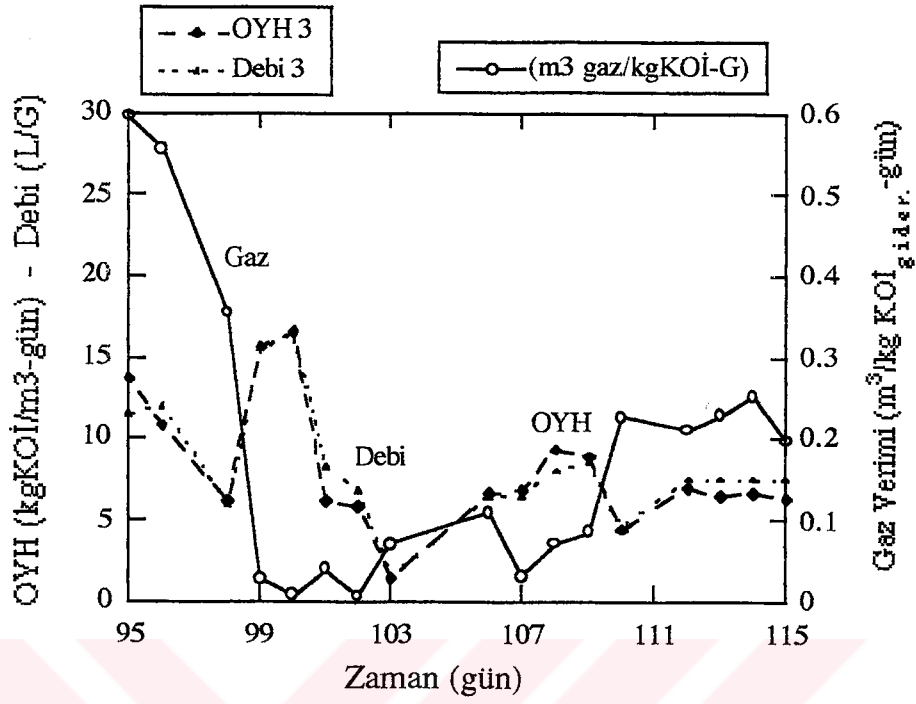
Şekil 6.20. (Devam)





Şekil 6.21. Reaktör 3' teki organik yükleme şokları

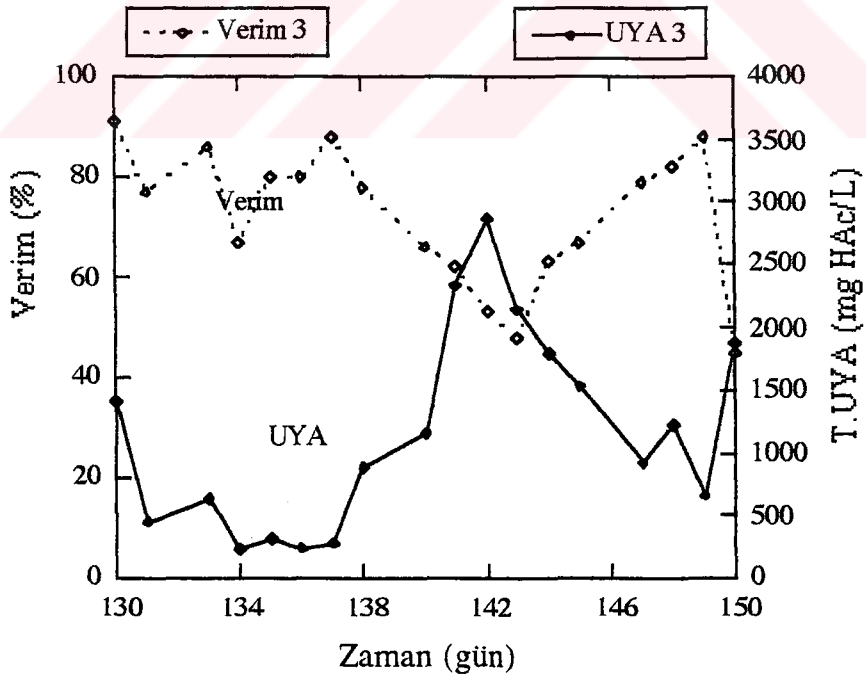
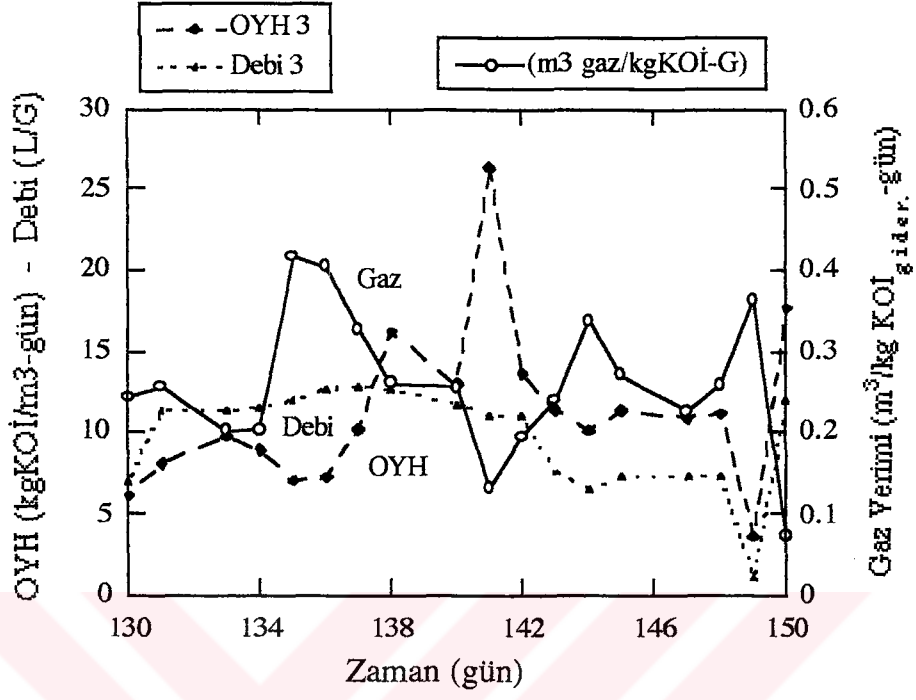




Şekil 6.21. (Devam).







Şekil 6.21. (Devam)



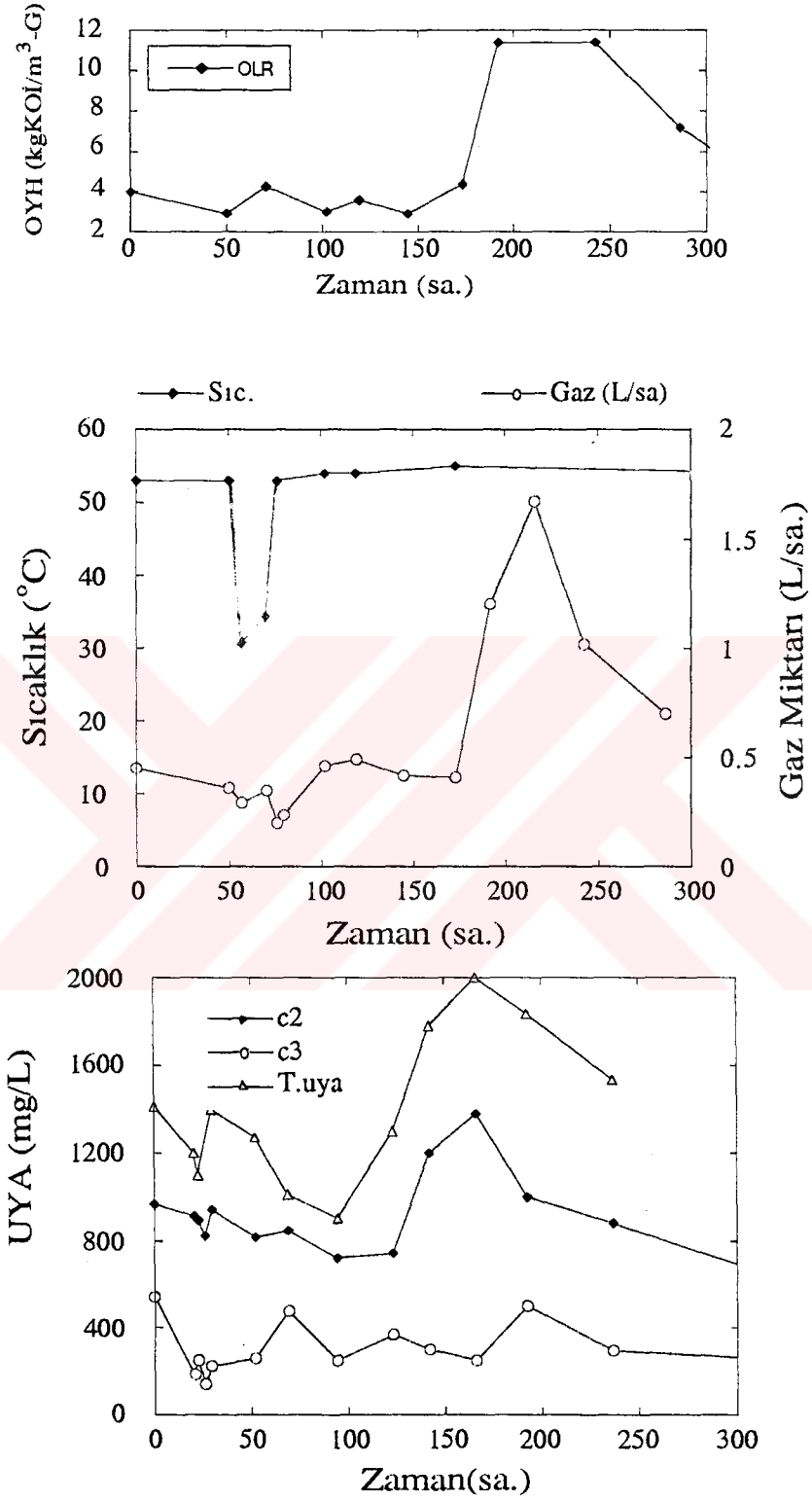
100.günde reaktör 3' te OYH şoku hidrolik şokla beraber uygulandığı için UYA konsantrasyonunda hızlı bir artış görülmüştür. İzleyen günlerde organik yükün düşük tutulması ve geri çevrim yapılmamasına rağmen KOİ giderme veriminin düşmemesi muhtemelen, reaktör sıcaklığının bir işletme hatasından dolayı 58-59°C gibi optimum şartlar dışında tutulmuş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durumda reaktör dengesi tam olarak sağlanamamış ve yüksek UYA konsantrasyonları metan reaksiyonlarını engellemiştir.

138.günde OYH, 16 kg KOİ/m<sup>3</sup>-G' e çıkartılınca UYA konsantrasyonunda artış belirmiş ve 141.günde 26 kg KOİ/m<sup>3</sup>-G gibi ani bir organik şok yapılmaya verim düşmeye ve UYA konsantrasyonu artmaya başlamıştır. Bu durum tespit edilince reaktör beslemesi kesilmiş ve izleyen günlerde düşük OYH' larında besleme işlemine devam edilmiştir. Böylece reaktör stabilitesi kısa sürede sağlanmıştır.

Şekil 6.20 ve 6.21'de görüldüğü gibi ani organik yüklemeye birlikte hidrolik şok da uygulandığında reaktör stabilitesi bozularak gaz miktarında düşme ve uçucu yağ asidi konsantrasyonunda artma gözlenmiştir. Fakat hidrolik şok yapılmadan organik yükün artırılması durumunda, 16 kg KOİ/m<sup>3</sup>-G' e kadar olan organik yük artışlarında reaktör performansı kısa bir zaman sonra ilk durumuna dönebilmiştir. Organik yük şoku 20 kg KOİ/m<sup>3</sup>-G değerini geçtiğinde ise reaktör veriminin ilk durumuna dönmesi 10 gün kadar sürebilmektedir.

Şok organik yükleme esnasında uçucu yağ asidi (UYA) türlerinde meydana gelen değişimleri belirlemek amacıyla yapılan çalışmalara ait sonuçlar ise Şekil 6.22' de görülmektedir. Deney esnasında, reaktör hidrolik bekletme süresi 24 saat civarında tutulurken besleme çözeltilisinin KOİ değeri yükseltilmiş ve reaktör organik yük değeri bir iki saat içinde ani olarak artırılarak anaerobik sistemin performansındaki değişimler incelenmiştir. Bu maksatla giriş KOİ' si 4.500 mg/L' den 11.000 mg/L' ye, yani organik yükleme değeri 4.4' ten 11.8' e çıkarılmış ve bu değerde 48 saat beslemeye devam edilmiştir. Organik yük artışı sonucunda gözlenen en önemli değişiklik, organik yük artışı kadar (yaklaşık 3 kat) günlük gaz hacmi artışının sağlanmasıdır. Artırma veriminin bozulmamış olması da, UYA konsantrasyonlarının artmamasını sağlamıştır.





Şekil 6.22. Uzun süreli şok yüklemelerdeki değişimler.

## 6.2. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 6.2.1.Reaktörlerin Devreye Alınması

Devreye alma çalışmasında mezofilik çamurun termofilik şartlara adaptasyonu yani reaktörün devreye alınma kademesi biyogaz üretiminden de anlaşılacağı gibi bir ay kadar bir sürede gerçekleştirilebilmiştir. Bazı günlerde işletme aksaklıklarının olmasına rağmen devreye alma kademesinin nispeten kısa sürmesinin nedeni, aşılama çamuru alınan mezofilik anaerobik reaktörde de aynı özellikteki melas atıksuyunun kullanılmış olması ile açıklanabilir.

Mezofilik bir arıtmadan termofilik arıtmaya geçilmesi iki yolla uygulanabilir. Bunlardan birincisi sıcaklığın belirli zamanlarda yavaş yavaş artırılması, ikincisi ise sıcaklığın hemen yada belirli bir değerden sonra ani olarak artırılmasıdır. Termofilik değerlere ulaşmak için, sıcaklığın ani olarak artırılması mezofilik şartlarda arıtma yapan metanojen mikroorganizmaların inhibisyonuna neden olmaktadır. Ancak, bu durumda dahi anaerobik mikroorganizmalar belirli bir süre sonra ortama uyum sağlayarak faaliyetlerine devam edebilmektedir. Metanojen mikroorganizmaların inhibisyona uğradığı bu zaman diliminde gaz üretimi çok az miktarda olmaktadır. Van Lier v.d., (1993) bir patates işleme fabrikasının anaerobik mezofilik (36°C) atıksu arıtma tesisinden aldıkları çamurla aşıladıkları reaktörlerin sıcaklıklarını termofilik şartlara yükselterek uçucu yağ asitleri ile besleme yapmışlar ve mikroorganizmaların yüksek sıcaklıklara adaptasyonunun 2 ay kadar sürdüğünü tespit etmişlerdir. İlk çalışmada reaktörlerin sıcaklığı 5°C aralıklarla artırılmış ve sonuçta her sıcaklık artışından sonra metan üretiminde ani bir azalma olduğu saptanmıştır. Yüksek sıcaklık değerlerinde yapılan sıcaklık şoklarında metan üretiminde daha fazla düşme gözlemlendiğinden, diğer bir reaktörde sıcaklık ani olarak 50°C' ye yükseltilmiş, takip eden haftada ise 1°C arttırılarak deneylere devam edilmiş ve sonuçta sıcaklık artışından dolayı metan üretiminde bir azalma olmadığı görülmüştür. Ancak bu şartlarda da mikroorganizmaların termofilik sıcaklıklara uyum sağlaması için yine 2 ay gibi bir sürenin geçtiği saptanmıştır. Wiegant ve Lettinga da (1985) çürütülmüş kanalizasyon çamuru, mezofilik granüler çamur ve hayvan dışkısını aşı çamuru olarak kullandıkları çalışmada, kolay ayrışabilir bir besi maddesi olan uçucu yağ asitleri ile yaptıkları besleme sonucunda termofilik reaktörlerden iki hafta gibi kısa bir sürede gaz çıkışı elde ettiklerini belirtmektedir.



Yapılan devreye alma kademesindeki çalışmalarda da görüldüğü gibi ani sıcaklık şokları sonucunda metanojenik mikroorganizmalar inhibisyona uğramasına rağmen belirli bir süre sonra termofilik ortam şartlarına adapte olarak metan üretimine başlamaktadır. Reaktör sıcaklığının haftada 1-2°C arttırıldığı kademeli durumda ise adaptasyon için yine aynı uzunlukta bir süre geçmektedir. Fakat bu durumda sıcaklık değişiminden dolayı şok etki meydana gelmediğinden, metanojenik reaksiyonlarda kesilme olmaması ve gaz üretiminin başlaması gibi bir avantaj elde edilmektedir.

### 6.2.2. Kısa Süreli Sıcaklık Şokları

Sıcaklık şokları sonucunda reaktörde meydana gelen etkiler anaerobik bakterilerin faaliyetlerindeki değişimle açıklanabilir. Anaerobik reaktör stabil şartlarda işletilirken farklı metabolik grupların aktiviteleri birbirine uyumlu olduğundan herhangi bir reaksiyon basamağındaki ürünün birikimi söz konusu değildir. Ancak, anaerobik proses sıcaklık şoku gibi ani bir işletme değişikliğine uğradığında, reaktör dengesi bozulmakta ve bakteri grupları bu etkiye farklı tepkiler göstermektedir. Anaerobik reaksiyonların dengede tutulma zorunluluğu proseste yer alan farklı mikrobiyal kültürlerin biyokinetik sabitlerinin farklı olmasından ileri gelmektedir.

Sıcaklık şokları sonucu biyogaz üretimindeki azalış, dış etkilere en hassas olan metanojen bakterilerin faaliyetinin engellenmesinden kaynaklanmaktadır. Reaktör ortamı eski şartlarına döndürüldüğünde ise metanojenler faaliyetlerine başlayarak çoğalmaya ve gaz üretimine devam etmektedir. Reaktör stabilitesinin bozulması sonucunda asit üreten asidojen bakterilerin faaliyeti ise metanojenlere göre çok daha az etkilenmektedir. Çünkü, asidojenik bakterilerin minimum çoğalma süresi 30 dakika iken, asetojenik bakterilerin 1.5 ila 4 gün, asetik asidi kullanan metanojenlerin 2 ila 3 gün, hidrojen ve karbondioksiti kullanan metanojenlerin 6 saattir (Mosey, 1982). Bu nedenle asidojenlerin faaliyetlerindeki engellenmeler kısa süreli olmaktadır. Düşük çoğalma hızına sahip mikroorganizmaların engellenmesi (inhibisyona uğraması) veya herhangi bir etki nedeniyle reaktörden kaçması ile oluşacak anaerobik reaksiyonların stabilitesindeki bozukluk ise daha uzun sürede iyileştirilebilmektedir.

Bazı çalışmalarda (Peck v.d., 1986; Speece ve Kem, 1970) sıcaklık (azalması ve artışı) takiben gaz miktarında meydana gelen artışı CO<sub>2</sub> gazının çözünürlüğünün

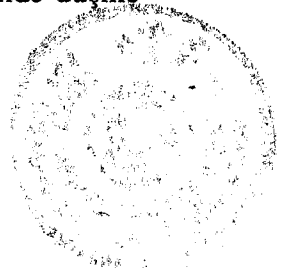


artmasından da kaynaklanabileceğinin belirtilmesi yanında gaz miktarındaki artışın asıl nedeninin şok esnasında biriken uçucu yağ asitlerinin ve bilhassa kısa sürede ayrıştırılabilen asetik asidin parçalanmasından meydana gelen gaz olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık şoku deneylerinde de şoktan sonra sıcaklığın ilk değerine getirilmesi sonucunda gaz çıkış miktarının arttığı fakat reaktörde meydana gelen olumsuz şartlara rağmen UYA konsantrasyonunun yükselmediği yani asit tüketim hızında bir artış olduğu görülmektedir. Bu sonuç, uygulanan sıcaklık şoklarının metanojen bakterilerin metan üretimi faaliyetini engellediği ve şok yüklemesini kaldırdıktan sonra metanojenlerin tekrar faaliyete başlayıp şok sıcaklık esnasında parçalanamayan bileşikleri hızla tüketerek gaz artışına neden olduğunu göstermektedir.

Metan üretiminin %70'i asetati ayrıştıran metanojenik (asetoklastik) bakterilerin faaliyeti ile meydana gelmektedir. Gaz miktarının artışı, reaktör ortamının dengeye gelmesinden sonra bilhassa asetatin kolaylıkla ayrışarak metana dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Şok değişimin yapıldığı ve uçucu yağ asidi türlerinin izlendiği bir çalışmada (Öztürk,1993) uzun süreli bir sıcaklık değişimi neticesinde reaktördeki asetat konsantrasyonunun bir miktar arttığı fakat bakterilerin yeni şartlara uyumundan kısa bir süre sonra ise hızlı bir azalma gösterdiği belirtilmektedir. Ayrıca, bu asit azalmasına paralel gaz üretiminde hızlı bir artış gözlemlendiği ve asetatin tükenmesiyle birlikte gaz üretimindeki artış hızının durduğu saptanmıştır. Propiyonik asidin ise başlangıç besleme değeri olan 1000 mg/L konsantrasyonunda kaldığı ve ancak asetik asit tükenmeye başladıktan sonra ayrıştığı tespit edilmiştir.

Sıcaklık şoku uygulanan reaktörde meydana gelen etkiler, reaktördeki yüklemesini değeri, şokun süre ve şiddeti gibi hususlara bağlıdır. Şok etkinin kaldırılmasından sonra ise yine bahsedilen hususlara bağlı olarak reaktör performansında kısa bir sürede iyileşme kaydedilmektedir. Reaktör veriminin şok etkiden önceki değerine ulaşması için geçen bu süre ise mikroorganizmaların ortama uyum sağlaması yada reaktörde uçucu yağ asidi birikimi söz konusu ise bu asitlerin ayrışması için gereken zamandan kaynaklanmaktadır.

Sıcaklığın düşük değerlerde uzun süreli kalması durumunda uçucu yağ asidi konsantrasyonlarında artış meydana gelmektedir. Bu esnada reaktörde görülen pH değerindeki düşme, reaktör stabilitesinin bozulmasını göstermekten ziyade uçucu yağ asidi konsantrasyonunun ve CO<sub>2</sub>' in çözünmesindeki artıştan ileri gelmektedir. Peck v.d., (1986) de reaktör sıcaklığının azaltılması sonucunda biyogaz üretiminde düşme

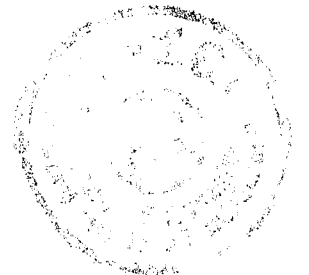




olduğunu, fakat CO<sub>2</sub>' in çözünmesinden dolayı biyogazın metan içeriğinin %5 ila 10 arttığını ifade etmektedirler. Uzun süreli (hidrolik bekletme süresinin %40'ı) bu sıcaklık şoku uygulamasında asetat konsantrasyonunun ise 10 mM değerine kadar çıktığı ve sıcaklığın önceki değerine arttırılmaya başlanmasıyla birlikte 1/8 HBS' si gibi kısa bir sürede 1 mM değerine kadar ayrıştırılabildiği tespit edilmiştir. Aynı şekilde daha kısa bekletme süreli reaktördeki sıcaklık şoklarında asetatın 35 mM'a kadar biriktiği ve sıcaklık artışıyla birlikte kısa sürede ayrıştırılabildiği belirlenmiştir. Ayrıca, bu araştırmacılar sıcaklık şokundan sonra aynı reaktörlerde beslemeli ve beslemesiz olmak üzere iki farklı çalışma yaparak beslemenin kesilmesinin, şok sonucu reaktörde biriken uçucu yağ asidi konsantrasyonunun daha kısa sürede azalmasını temin ettiğini gözlemişlerdir.

Yapılan sıcaklık şoku çalışmalarında da reaktör dengesi bozulduğunda besleme işlemine devam edildiğinde veya geri devir uygulandığında kararlı şartlara ulaşmanın uzun bir zaman aldığı görülmüştür. Bunun yerine, organik yükleme şoku deney neticelerinde de belirtildiği gibi, reaktör stabilitesi bozulduğunda reaktör ortamı dengeye ulaşmaya kadar besleme işlemini kesmek veya azaltmak daha uygun bir çözüm olmaktadır. Aksi takdirde biyokimyasal reaksiyon dengelerindeki bozukluk devam edeceğinden verim uzun bir süre düşük değerlerde kalacaktır.

Şok değişimlerin reaktördeki anaerobik biyokimyasal reaksiyonların dengesini bozmayacak boyutta olması gaz üretimindeki geçici etkilenme dışında reaktör performansında bir değişiklik meydana getirmemektedir. Sıcaklık şokunun yapıldığı bir çalışmada, Caine v.d.,(1991) de 6-8 kg KOI/m<sup>3</sup>-gün organik yükleme değerinde işlettikleri mezofilik reaktörde uzun süreli şokları incelemiş ve 8 saat süreyle 6°C' lik sıcaklık şoku uygulayarak reaktörde görülen ilk etkinin biyogaz üretimindeki azalma olduğunu saptamıştır. Sıcaklık şoku esnasında organik yüklemeye göre metan üretiminde bir miktar azalma görüldüğünü fakat 24 saat zarfında biyogazdaki metan içeriğinin fazla değişmeden %70 civarında kaldığı tespit edilmiştir. Isıtıcılar tekrar devreye alındıktan sonra ise biyokütle aktivitesinin artarak gaz üretiminde yükselme görüldüğü ve metan veriminde artış kaydedildiği ifade edilmektedir. Gaz miktarındaki bu azalma dışında reaktör performansı korunmuş ve bilhassa uçucu yağ asidi artışı kaydedilmediğinden diğer artma parametrelerinde bir değişiklik görülmemiştir.



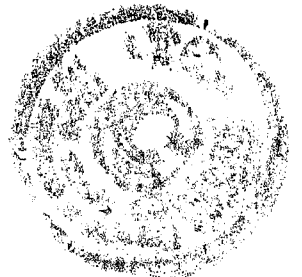
Sıcaklık şokunun yapıldığı çalışmalarda görüldüğü gibi metanojen bakteri faaliyetlerinin düşmesi veya durma aşamasına gelmesi ile gaz üretimi azalmaktadır. Ancak bu faaliyet azalması esnasında UYA konsantrasyonunda önemli bir artış meydana gelmemesini belirgin bir şekilde açıklayabilmek için bakteri grupları üzerinde mikrobiyolojik çalışmaları da içeren daha detaylı araştırmaların yapılması gereklidir.

Yapılan deneyler sonucunda, uzun süreli sıcaklık şoklarında da kısa süreli olanlara benzer sonuçlar alınmıştır. Reaktör sıcaklığı 15 saat gibi uzun bir zaman termofilik sıcaklıkların dışında kalmasına rağmen sıcaklık tekrar 53°C'ye yükseltildiğinde mikroorganizmaların KOİ giderme veriminde bir azalma olmadığı görülmektedir. Ancak, reaktördeki gözlemlerde anaerobik çamurun uzun süren şok sıcaklık etkisi ve çıkan biyogazın azalmasıyla çöktüğü görülmüştür. Uçucu yağ asidi konsantrasyonlarında önemli bir değişiklik kaydedilmemesi ise organik yüklemenin reaktörün arıtılabileceği potansiyelin altında bir değer olmasından kaynaklanmaktadır. Şok etkisi sonucu meydana gelen uçucu yağ asidi konsantrasyonları yüksek mertebelere ulaşmadığından dolayı reaktörün tamponlama kapasitesi sayesinde dengelenebilmektedir.

Daha büyük dereceli sıcaklık değişimlerinde ve yüksek organik yüklemelerde bakterilerin etkilenmesi daha fazla olduğu için şoklardan sonra uçucu yağ asidi konsantrasyonları nispeten artmakta ve dolayısıyla pH değeri düşmektedir. Genel bir sonuç olarak yapılan deney çalışmalarında kısa süreli sıcaklık şokları sonucunda görülen ilk etkinin gaz üretimindeki azalma olduğu saptanmıştır. Reaktörün diğer işletme parametrelerinde ise stabil şartlarda da görülebilen düşük değerli değişimler dışında önemli bir değişiklik kaydedilmektedir. Bunun nedeni uygulanan organik yüklemelerin, maksimum potansiyel yüklemeden düşük olması ile açıklanabilir. Düşük organik yüklemelerde şok etkisi sonucu reaktör stabilitesi bozulsadahi etki derecesi küçük olduğundan kararlı duruma ulaşmak daha kolay olmaktadır. Yüksek organik yükleme hızlarında ise düşük dereceli bir sıcaklık şokunda dahi stabilite bozukluğu görülebilmektedir.

### **6.2.3. Sıcaklık Değişimi ve Uçucu Yağ Asitlerinin Verime Etkisi**

Uçucu yağ asitleri, organik maddelerin anaerobik arıtımında ortaya çıkan en önemli ara ürünlerdir. Bu asitler hem arıtma tesisindeki asit-baz dengesinde rol oynamakta, hem de metan oluşumunda kullanılabilen çok az sayıdaki üründen birini oluşturan asetik asidin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.



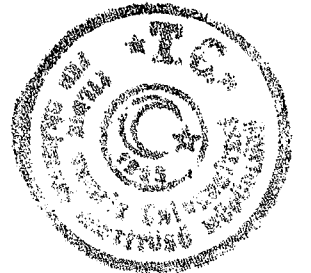


Asetik ve propiyonik asit anaerobik reaksiyonlarda görülen uçucu yağ asitlerinin en önemlileridir ve bu asitlerin konsantrasyonu reaktör performansını belirlemede önem taşımaktadır. Düşük asit konsantrasyonları kararlı işletme şartlarını gösterirken yüksek asit konsantrasyonları ise reaktör stabilitesindeki bozulmanın bir göstergesidir. Anaerobik reaksiyonlardaki dengesizlik durumunda asetik ve propiyonik asit konsantrasyonlarının her ikisinde de artış kaydedilirken, son yıllarda yapılan çalışmalarda özellikle propiyonik asidin reaktör şartlarındaki değişimlere daha hassas olduğu ortaya konulmuştur.

Yapılan deney çalışmasında da gerek şok yüklemelerde gerekse optimum termofilik şartlar dışına çıkıldığında uçucu yağ asidi konsantrasyonlarında artış görülmüş ve propiyonik asidin diğer uçucu yağ asidi türlerine göre daha zor ayrıştığı tespit edilmiştir.

Propiyonatın kısa sürede ayrıştırılamaması, bu asidin metanojenler tarafından doğrudan kullanılamaması sonucu reaktörde birikerek pH' yı düşürmesi ve metanojenlere engelleyici etki oluşturması ile açıklanabilir. Attal v.d. (1986), nötr pH' da (6.7-7.2) asetojenik ve asetoklastik bakterilerin aynı miktarda aktivite gösterdiklerini bularak propiyonatın metana ayrıştırılmasında asetoklastik aktivitenin yani asetattan metana geçişin sınırlayıcı basamak olduğunu ifade etmektedirler. Ayrıca, düşük pH' da hidrojenofilik bakterilerin aktivitesinin daha fazla, fakat ortama uyum süresinin (lag fazı) daha uzun sürdüğünü ve hidrojenofilik bakterilerin hücre içindeki pH' yı yüksek tutabilirken, asetoklastik ve asetojenik grupların, iyonize olmamış asitlerin hücre pH' sını düşürmesi ve ATP oluşumunu engellemesi nedeniyle aktivitelerini yitirdiğini belirtmektedirler.

Ani ve uzun süreli sıcaklık şokları sonucunda reaktör stabilitesindeki bozulma asetik asit veya toplam uçucu yağ asidi konsantrasyonundan ziyade propiyonik asit veya dallanmış (izo- yapılı) uçucu yağ asitlerindeki artış ile karakterize edilmektedir (Peck v.d.,1986). Bunun nedeni de proton indirgeyici bakterilerin asetat kullanan metanojenlerden daha fazla inhibisyona uğramasıdır. Propiyonatın şok değişimlere hassasiyeti hidrojen kısmi basıncındaki artışa da bağlıdır. Çünkü, hidrojen üreten proton indirgeyici asetojenik bakteriler termodinamik olarak ( $10^{-3}$ ) atmosferden düşük hidrojen basıncında faaliyet göstermektedirler. Fang ve Chui (1995) de metanojenik reaksiyonlarda propiyonattan asetata dönüşümün reaksiyonu sınırlayıcı basamak olduğunu belirlemiştir.

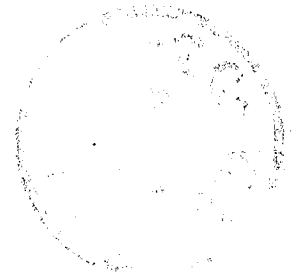


İyonize olmamış uçucu yağ asitleri metanojenlere engelleyici etki yapmaktadır. Bu formdaki uçucu yağ asitleri bakteri membranından kolaylıkla geçebilmekte ve hücre içinde biriken yüksek uçucu yağ asidi konsantrasyonu bakteri faaliyetini engellemektedir. Bu nedenle, reaktörde asit konsantrasyonlarının artarak reaksiyonu engellemesini önlemek için yeterli miktarda alkalinite ve pH değerinin temin edilmesi gerektiği kesinlik kazanmıştır. Reaktör veriminde asit konsantrasyonu artışından dolayı bir düşme görülürse, reaksiyon dengelerinin tekrar yerine gelmesi ve reaktörün kontrolü için, inhibisyon nedeniyle parçalanma hızı yavaşlamış uçucu yağ asitlerinin ayrışmasını beklemek gerekecektir. Anaerobik reaktörlerin geri kazanımı sırasında öncelikle asetik ve bütirik asit konsantrasyonlarında azalma olmakta ve biyogaz üretiminde ani bir artış görülmektedir. Bu durum asetat kullanan metanojenlerin sıcaklık artışına ilk uyum sağlayan bakteriler olduğunu göstermektedir.

Uçucu yağ asitleri reaktör şartlarına bağlı olarak belirli bir değerden sonra zararlı etki meydana getirmektedir. Örneğin, asetik asit için 50 mM (3000 mg/L) ve daha düşük konsantrasyonlarda reaktör performansında herhangi bir etki saptanmazken, 100 mM' dan yüksek konsantrasyonlarda inhibe edici etki görülmüştür. Propiyonik asit ise metanojenik sistemlerde daha fazla toksik etki göstermektedir. Çeşitli çalışmalarda 1000 mg/L ve üzerindeki konsantrasyonlarda önemli derecede engelleyici etki görülmüştür (Hobson ve Shaw, 1976; Andrews, 1968; Yang ve Okos, 1987; Claren v.d.,1988).

Anaerobik reaksiyonlarda 'ürün engellemesi' (product inhibition) diye adlandırılan etkiler de ortaya çıkmaktadır. Örneğin, asetik ve propiyonik asit konsantrasyonlarının metan oluşumundaki etkisini araştırdıkları çalışmada Mawson v.d.(1991), 2000 mg/L' ye çıkarılan asetik asidin, propiyonik asidin parçalanmasında engelleyici etkisi olduğunu açıkça belirlemişlerdir. Asetat 500 mg/L' den 2000 mg/L' ye çıkartılınca, propiyonat giderimi yarı yarıya düşmektedir. Ayrıca, propiyonatın ayrışmasındaki bu engellenmenin pH' ya atfedilemeyeceği, çünkü deney esnasında sadece 0.1-0.3 birim pH düşüşü gözlemlendiği belirtilmiştir.

Attal v.d. (1988) ise yaptıkları çalışmada pH' yı kasdi olarak düşürerek asidik şartların inhibisyona doğrudan etkili olduğunu bulmuşlardır. Düşük pH' da (pH=5.2' de) asetatın mevcudiyeti propiyonatın parçalanmasını engellemiştir. Değişik pH değerlerinde yapılan deneylerde yüksek propiyonik asit konsantrasyonun metan oluşumunu



engellemediği fakat asetik asidin mevcudiyetinden dolayı ayrışmasının gecikerek arıtma veriminin bozulacağını gösterdiği tespit edilmiştir.

Tez çalışması yapılan deney reaktöründe UYA konsantrasyonunun artmasına rağmen çıkış pH' sında önemli bir azalma görülmemesi ortamda yeterli tampon madde bulundurulmasından kaynaklanmaktadır. Reaktör pH'sı metanojen bakterilerin faaliyetinin durmasına neden olacak kadar azalmadığı için orta derecede bir verim değeri elde edilebilmiştir.

Asetik asidin pKa' sı büyük yani propiyonik asite göre daha kuvvetli asit olduğundan ortamın pH' sını düşürmekte ve pH düşüncü propiyonik asidin ayrışması engellenerek konsantrasyonu artmaktadır. Attal v.d., (1986,1988) tampon madde ilave etmeden ve pH' ya müdahale etmeden yaptıkları çalışmada asetatın ayrışmasından sonra pH değerinin 5.2'den 5.8'e yükselerek propiyonik asitin ayrışmasındaki engellenmenin ortadan kalktığı ve metana dönüşümünün başladığını tespit etmişlerdir. Sadece propiyonik asit beslemesi yapılan bir çalışmada ise pH=5.2-5.5 gibi düşük değerlerde dahi, az da olsa ayrışma meydana geldiği görülmüştür. Bu da düşük pH değerinin propiyonik asidin ayrışmasını engellemediğini göstermektedir. Fakat düşük pH' lı ortamda asetat mevcut olduğunda propiyonik asitin ayrışması engellenmektedir. Reaktör pH' sını ne kadar düşük olursa propiyonik asit birikimi de o kadar çok olmaktadır. Yapılan deney çalışması sonucunda da, reaktör sıcaklığının değişimiyle, propiyonik ve asetik asidin yüksek konsantrasyonlara çıkması neticesinde arıtma veriminin azaldığı görülmüştür. Ortam şartlarının iyileştirilmesi ve yeterli tampon maddenin mevcudiyeti sayesinde uçucu yağ asitlerinin ayrışmasındaki engellenmenin ortadan kalkmasından sonra ise asetatın hızla ayrıştırıldığı fakat propiyonik asidin ayrışması için daha uzun bir süre geçmesi gerektiği saptanmıştır. Anaerobik bakteriler ortam şartlarına uyum sağlayıp asetatı ayrıştırmaya başladıktan sonra ortam pH' sını nispeten yükselerek propiyonik asit ayrışması başlamakta ve konsantrasyonu azalmaktadır.

#### 6.4.3. Şok Organik Yüklemeler

Organik yükleme şoklarının yapıldığı deney reaktörlerinde görülen ilk belirgin etki verimin düşmesi ve uçucu yağ asidi konsantrasyonunun artmasıdır. Ani organik yüklemeye birlikte hidrolik şok da uygulanması durumunda ise reaktör stabilitesindeki bozulma daha etkili olmaktadır. Hidrolik şok yapılmadan organik yük artırılırsa,

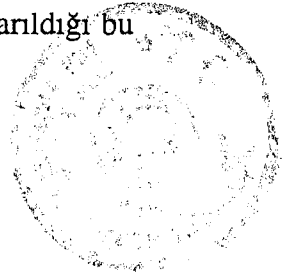


16 kg KOİ/m<sup>3</sup>-G' e kadar olan organik yük artışlarında reaktör performansı kısa bir zaman sonra ilk haline dönebilmektedir. Organik yük şoku 20 kg KOİ/m<sup>3</sup>-G değerini geçtiğinde ise reaktör veriminin ilk durumuna dönmesi 10 gün kadar sürebilmektedir. Yine deney sonuçlarından anlaşılabilceği gibi stabil şartlarda işletilen reaktörlerde kaba bir parametrede olsa metan gazı üretimi ve KOİ verimi reaktörün dengede olup olmadığını belirlemede önem taşımaktadır.

Şok organik yük artışları reaktörün potansiyel maksimum arıtma kapasitesini geçmeyecek büyüklükte ise reaktör stabilitesinde bozulma meydana gelmesine rağmen gaz çıkışında artış görülebilmektedir. Organik yükleme şoku uyguladığı çalışmada Caine v.d.,(1991) de pilot ölçekli anaerobik bir reaktörde, 8 saat süreyle organik yükleme hızını (7' den 15 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün' e) arttırmış ve sonuçta biyogaz üretiminde artma olmasına karşın KOİ giderme veriminde %20' lere kadar düşme olduğunu, ayrıca metan veriminin azaldığını tespit etmiştir. Organik yükleme sonucunda reaktör işletme şartlarında oluşan olumsuzluklar, sıcaklık şoklarında da belirtildiği gibi anaerobik bakteri grupları arasındaki aktivite farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Ortam şartlarına daha hassas olan metanojen bakteriler şok değişimlerden hemen etkilenerek faaliyetlerini yavaşlatmakta, bunun sonucunda da asidojenlerin ürettiği UYA konsantrasyonu artmaktadır.

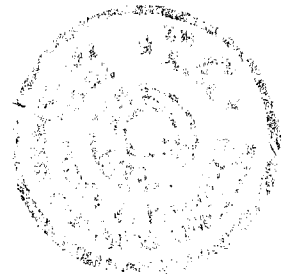
Grobicki ve Stuckey (1991) de sakkaroz ile besleme yaparak şok yüklemenin etkisini araştırdıkları bir çalışmada hidrolitik bekletme süresini azaltarak organik yüklemeyi 5 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün' den 96 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün değerine çıkartıp 3 saat süren şok yükleme uygulamış ve sonuçta reaktör stabilitesinin bozulduğunu, ayrıca %8-14 kadar biyokütle kaçıışı olduğunu saptamışlardır. Şok yükleme kesildikten sonra ise reaktörler bir gün içinde geri kazanılmış ve KOİ giderme verimi tekrar %95' lere yükseltilebilmiştir. Esas olarak hidrolitik yükün arttırıldığı bu çalışmada da ifade edildiği gibi şok yüklemelerde çamur kaçıışı da meydana gelebilmektedir. Bu duruma akış hızının yanında artan gaz çıkış miktarı da neden olmaktadır.

Organik yükleme şoklarında da diğer şok değişimlerde olduğu gibi anaerobik bakteri türlerinin etkilenme derecesi farklı olduğundan uçucu yağ asidi türlerindeki değişim (artış) miktarı da farklı olmaktadır. Caine v.d., (1991) yaptıkları çalışmada organik yükleme şokları sonucunda propiyonik asit birikiminin, asetik aside göre daha fazla olduğunu belirtmektedir. Organik yüklemenin 8 saat süreyle iki katına çıkarıldığı bu



çalışmada propiyonik asidin asetik aside oranı 3:1'e yükselmiştir. Dohanyos v.d. (1985) ise 5 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün organik yükleme değerine kadar uçucu yağ asitlerinin 2 mmol/L' den düşük değerlerde kaldığını ancak yükün artırılması durumunda asit konsantrasyonlarının hızlı bir artış göstererek, asetik ve propiyonik asit konsantrasyonunun 60 mmol/L' ye kadar yükseldiğini belirtmektedirler. Organik yükleme tekrar azaltılmaya başlandığında ise uçucu yağ asitlerinin de azaldığını fakat propiyonik asidin azalma hızının daha yavaş olduğu ifade edilmektedir. Aynı araştırmacılar filtre yataklı bir reaktörde ise 10 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün organik yükleme değerine kadar uçucu yağ asitlerinde artış gözlemediklerini ancak organik yüklemeyi sabit (4 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün) tutmalarına rağmen hidrolik bekletme süresini yarıya (2.7 gün) indirdiklerinde uçucu yağ asitlerinde, hidrolik bekletme süresi şokunun hemen ardından ani hızlı bir artış görüldüğünü tespit etmişlerdir. Reaktör, hidrolik bekletme süresi düşük tutulmaya devam edildiğinde ise bakteriyel faaliyetlerin ortama uyumu sayesinde reaktör stabilitesi geri kazanılmış ve uçucu yağ asidi konsantrasyonlarında azalma gözlenmiştir.

Anaerobik reaktörlerde çok ani olmayan organik yükleme artışları sonucunda ise gaz üretimi belirli bir yük değerine kadar doğrusal oranda artmakta fakat artım kapasitesinin geçildiği organik yükleme değerlerinden sonra birim yük başına üretilen gaz verimindeki artış azalmakta ve hatta gaz üretiminde düşme görülmektedir. Bu maksimum yükleme kapasitesi reaktör şartlarının çok iyi korunması, reaktör alkalinitesinin yüksek tutulması ve reaktörlerin devreye alınmasında seçilmiş uygun bakteri türlerinin kullanılması gibi önlemler ile artırılabilir.





## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Termofilik anaerobik reaktörün, mezofilik şartlarda çalışan anaerobik reaktörden alınan aşı çamuru ile devreye alınması bir aydan daha kısa bir sürede gerçekleştirilmiştir. Ayrıca reaktörün bir kaç ay gibi uzun bir süre işletilmeden bekletilmesinden sonra da, yani kesikli işletme durumunda anaerobik reaktörlerin kolaylıkla tekrar devreye alınabildiği belirlenmiştir.

Melas atıksuları, termofilik şartlarda çalışan yukarıkışlı anaerobik çamur yataklı reaktörde stabil şartlarda % 95' lere ulaşan verimlere kadar artırılabilmiştir. Reaktörlerde stabil işletme şartları, dolayısıyla yüksek verim elde etmek için, kullanılan atıksuya bağlı olarak reaktörün potansiyel maksimum organik yükleme kapasitesinin belirlenmesi ve bu yükleme değerinin geçilmemeye çalışılması arıtma verimi açısından önem taşımaktadır. Daha yüksek değerlerde arıtım yapılabilmesi için ise uygun aşı çamurunun seçilmesi, devreye alma kademesinde itinalı işletme şartlarının uygulanması gibi hususlara dikkat etmek gerekmektedir.

Reaktörün işletilmesi esnasında meydana gelebilecek elektrik kesilmesi, ısıtıcı arızası veya aşırı yükleme gibi olumsuzlukları karakterize eden çalışmalarda arıtma veriminin kısmen veya tamamen engellendiği fakat olumsuz şartların giderilmesinden sonra kısa sürede iyileşme kaydedildiği belirlenmiştir.

Kısa süreli sıcaklık şoklarında metan oluşturan bakteriler önemli bir zarar görmedikleri için reaktör ortamındaki şartlar değişip şok yüklemenin etkisi geçtiğinde aktivitelerini tekrar kazanabilmektedirler.

Reaktördeki gaz üretimi ise sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir, sıcaklık azalınca gaz üretimi de hızla düşmektedir.



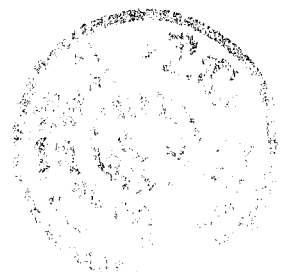
Organik yükleme Şoklarında 20 kg KOİ/m<sup>3</sup>-gün yük değerine kadar reaktör stabilitesi korunabilmesine rağmen bilhassa hidrolik Şok yapılması durumunda çamur kaçışı ve stabilite bozukluğu meydana gelmektedir. Şok yükleme veya benzeri bir nedenle stabilitesi bozulan reaktörlerde beslemenin azaltılması veya tamamen kesilerek uçucu yağ asitlerinin konsantrasyonunda düşme kaydedilene kadar beklenmesi gerekmektedir. Ayrıca bu esnada reaktör pH' sına müdahale ederek bilhassa metanojen mikroorganizmalara zehirli etki meydana getirebilecek iyonize olmamış uçucu yağ asidi konsantrasyonu da azaltılmaya çalışılmalıdır.

Uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının artışı anaerobik reaksiyonların tamamıyla bozulduğunu göstermese dahi stabilitenin bozulacağının bir göstergesidir. Anaerobik reaksiyonlardaki dengesizlik durumunda asetik ve propiyonik asit konsantrasyonlarının her ikisinde artmakta fakat özellikle propiyonik asidin reaktör Şartlarındaki değişimlere daha hassas olduğu görülmektedir. Ayrıca, işletme Şartları düzeldiğinde asetik asit hızla metana ayrıŐırken propiyonik asidin ayrışması daha uzun bir zaman almaktadır.



**KAYNAKLAR**

- Anderson, G.K., and Yang, 1992. Determination of bicarbonate and total VFA conc.in anaerobic digester using a simple titration, *Water Environ. Res.*, 64(1); 53 - 59.
- Andrews J.F., 1968. A dynamic model of the anaerobic digestion process, *Proc. 23rd Purdue Industrial Waste Conf.*, 285-310.
- Attal A., Ehlinger, F., Audic J.M., and Faup G.M., 1986. Anaerobic fermentation at low pH, *Anaerobic treatment-a grown up technology, Aquatech 86, Amsterdam*, 63-76.
- Attal A., Ehlinger, F., Audic J.M., and Faup G.M., 1988. pH inhibition mechanisms of acetogenic, acetoclastic and hydrogenophilic populations, *Proc. 5th international symposium on anaerobic digestion, May 1988, Bologna, Italy, Pergamon Press*, pp.71-79.
- Boone, D.R., 1982. Terminal reations in the anaerobic digestion of animal waste , *App. Env. Microbio.*, 43;57-64.
- Breure, AM., and van Andel, JG., 1985. Microbiological impact on anaerobic digestion, Ed. Wise, DL., *Bioenvironmental Systems, Vol.2, CRC Press Inc.*,95-112.
- Buhr,HO., and Andrews, JF., 1977. Termophilic anaerobic digestion process, *Water Res.* 11:129-143.
- Bull MA., Sterritt RM., and Lester JN., 1983. *J.Chem. Tech. Biotech.* 33B:221.
- Caine, M.E., Anderson, G.K., and Donnelly, T., 1991. A study into the effect of a series of shocks on a pilot-scale anaerobic filter. *45th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings, Lewis Publishers, Michigan.*
- Chen, M., 1983. Adaptation of mesophilic anaerobic fermentor population to thermophilic temperature , *App.Env.Microbio.*, 45;1271-1276.





Chian, ES., and de Walle, FB., 1977. Treatment of high strength acidic wastewater with a anaerobic filter, WR., 11:295-304.

Clarens M., Moletta R., and Dalmeyda M.L., 1988. The influence of physico-chemical parameters on acetate fermentation. In Proc. 5th international symposium on anaerobic digestion, May 1988, Bologna, Italy, Pergamon Press, pp.27-30.

Clarke, RH., and Speece, RE., 1971. The pH tolerance of anaerobic digestion, 5th Int. Water Pollution Research Conf., New York, 11-27.

Colleran, E., Barry, M., and Newel, P.J., 1982. Anaerobic digestion of agricultural wastes using the upflow anaerobic filter design, Process Biochem. 21, 12-17.

DeZeeuw, W., and Lettinga, G., 1980. Acclimation of digested sewage sludge during start-up of anaerobic reactor, 35th Ind. Waste Conf., Purdue Univ., Indiana.

De Zeeuw, W., 1984. Acclimatization of anaerobic sludge for UASB reactor startup, Ph.D. thesis, Wageningen, Netherlands.

Denac, M., Miquel, A., and Dunn, I.J., 1988. Modelling of anaerobic degradation of molasses wastewater, Biotechnol. and Bioeng., 31(1):1 - 10.

Dohanyos, M., Kosova, B., Zabronska, J., and Grau, P., 1985. Production and utilization of volatile fatty acids in various types of anaerobic reactors.

Duarte AC., and Anderson GK., 1983. J. Chem. Eng. Symp., 77:149.

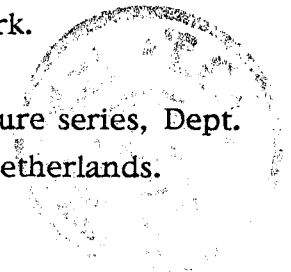
Eggers, E., 1981. Improvement of solid-liquid-gas separation efficiency, 2nd international symposium on anaerobic digestion, Travemünde, Germany.

Eggers, E., 1981. Improvement of solid-liquid-gas separation efficiency, 2nd international symposium on anaerobic digestion, Travemünde, Germany.

Fang, HP., and Li, YY., 1995. Performance and sludge characteristic of UASB process treating propionate-rich wastewater, WR, Vol. 29, 3:895-898.

Ferguson, JF., Eis, BJ., and Benjamin MM., 1982. Neutralization in anaerobic treatment of acidic waste, IAWPR-seminar, Copenhagen, Denmark.

Field, J., and Sierra, R., 1989. Biodegradability and toxicity lecture series, Dept. Water Pollution Control, Agricultural Univ., Wageningen, The Netherlands.



Gottschalk, G. and Andreesen, J.R. 1979. Energy metabolism in anaerobes, *Int. Rev. Biochem.*, 21:85-87.

Grobicki A., and Stuckey D.C., 1991. Performance of the Anaerobic Baffled reactor. *Biotech. and Bioeng.*, 37:344-355.

Henze, M., and Harremoës, P., 1983. Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors- a literature view, *WST*, 15(8/9):1-101.

Heyes R.H., and Hall R.J., 1983. Kinetics of two subgroups propionate using organisms in anaerobic digestion. *App. and Env. Microbio.*, 46(7): 10-715.

Hobson, P.N., and Shaw, B.G., 1976. Inhibition of methane production. *Wat.Res.*, 10:849-852.

Iannotti E.L., and Fischer J.R., 1984. Effects of ammonia, volatile acids, pH and sodium on growth of bacteria isolated from swine manure digestion, 40th Gen. Meeting of Soc. Ind. Microbio., Florida, 741.

Jewell, W.J., and Morris, J.W., 1982. Influence of varying temperature, flow rate and substrate concentration on the anaerobic attached film expanded bed process, *Proc. of 36th Industrial Wastewater Conference*, Ann Arbor Science, Mich., p.126.

Koster, I.W., 1986. Characteristics of the pH influenced adaptation of methanogenic sludge to ammonium toxicity, *J.Chem.Tech.Biotechnol.*, 36: 455-455.

Kroeker, E.J., 1979. Anaerobic treatment process stability, *Journal WPCF*, 51(4): 718 - 727.

Kroiss, H. and Wabneqg, F.P., 1983. Toxicity with anaerobic wastewater treatment. *Proc. of the European Symposium on Advanced Anaerobic Waste Treatment (AVWT)*, W.J.van der Brink (Ed.), AWWT Symposium Secretariat, TNO Corporate Communication Dept., The Hague, 72.



Lettinga G., van der Geest AT., Hobma S., and van der Laan J., 1979. The application of anaerobic digestion to industrial pollution treatment, *WR*, 13:725.

Lettinga, G., Van Velsen, SW., Hobma, SW., de Zeeuw, W., and Klapwijk, A., 1980. Use of the upflow sludge blanket reactor concept for biological wastewater treatment, *Biotech. and Bioeng.*, 22:699-734.

Lettinga, G., de Zeeuw, W., de Jong, P., Hobma, SW., Hulshoff Pol, LW., Grin, P., and Roersma, R., 1983. Design, operation and economy of anaerobic treatment, *WST*, Vol.15, Copenhagen, Denmark, 177-195.

Lettinga, G., and Holl, P., 1989. Anaerobic Treatment of Strong Wastewater lecture series, Dept. Water Pollution Control, Agricultural Univ., Wageningen, The Netherlands.

Mackie, RK and Bryant, MP , 1981. Metabolic activity of fatty acid-oxidizing bacteria and the contribution of acetate, propionate, butirate and CO<sub>2</sub> to methanogenesis in cattle waste at 40 and 60°C, *App.Env. Microbio.* ,41; 1363-1373.

Martensson, L., and Frostel, B., 1982. Anaerobic wastewater treatment in a carrier assisted sludge bed reactor, IAWPRC seminar, June, Copenhagen, Denmark.

Mawson, AJ., Earle, RL., and Larsen VF., 1991. Degredation of acetic and propionic acids in the methane fermentation, *WR.*, 25:12; 1549-1554.

McCarty, PL., and McKinney, RE., 1961. Volatile acid toxicity in anaerobic digestion, *JWPCF*, 33; 2223-2232.

McCarty, P.L. et al, 1964. Ion effects in anaerobic digestion, Tech. Report No:23 Dept. of Civil Eng., Stanford Unix., Calif.

McInerney, MJ., Mackie, RI., and Bryant, MP., 1981. Syntrophic association of a butyrate degrading bacterium, *App. Env. Microbio.* ,41:826-830.



Mc Inerney, MJ and Bryant, MP, 1981. Review of CH<sub>4</sub> fermentation fundamentals, in DL. Wise, ed. Fuel and Gas Produc. from Biomass, CRC Press, 19-46.

Moosbrugger, RE., Wentzel, MC., Ekama, GA., and Marais, GR., 1993. Weak acid/bases and pH control in anaerobic systems, Water SA, 19(1):1 - 10.

Mosey F.E., 1982. Mathematical modelling of the anaerobic digestion process, IAWPR-seminar on anaerobic treatment, June, Copenhagen, Denmark.

Murray, WD., and van den Berg, L., 1981. Effects of Ni, Co and molibden on performance of methanogenic fixed film reactors, App. and Env. Mic. 42:502-505.

Öztürk M., 1991. Conversion of acetate, propionate and butyrate to methane under thermophilic conditions in batch reactors, Wat. Res. 25(12); 1509 - 1513.

Öztürk, M., 1993. Degradation of acetate, propionate, and butyrate under shock temperature, Journal of Environ. Engn., ASCE, 119(2): 321 - 331.

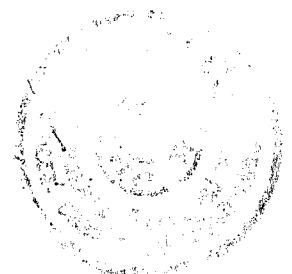
Parkin. G.F., 1986. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges, J. Envir. Engrg., ASCE, 112(5):867 - 920.

Peck, M.W., Skilton, J.M., Hawkes, F.R. and Hawkes, D.L., 1986. Effects of temperature shock treatments on the stability of anaerobic digesters operated on separated cattle Slurry, Wat. Res., 20(4): 453 - 462.

Pfeffer, JL., 1974. Temperature effect of anaerobic fermentation oif domestic refuse, Biol, 16;771-787.

Pol, LW.Hulsoff and others, 1982. granulation in UASB reactors, IAWPRC seminar, June, Copenhagen, Denmark.

Salkinoja-Salonen , M., 1982. The behavior of chloroorganic chemicals in the environment and their biological treatment, FAST environmental biotechnology workshop, Versailles.



Schlegel, S., and Kalbskopf, KH., 1982. Treatment of liquors from heat treated sludges, 2nd international symposium on anaerobic digestion, Travemünde, Germany.

Speece PH and McCarty PL., 1964. Nutrient requirements and biological solids accumulation in anaerobic digestion, Proceedings of Int. Conf. , London , Pergamon Press, 305-322.

Speece, RE., and Kem, JA.,1970. The effect of short term temperature variations on methane production, JWPCF,42:1990-1997.

Speece, R.E., 1983. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment, Environ. Sci. Technol., 17, (9): 416A-427A.

Standard Methods for Examination of water and wastewater American Public Health Association, 1985, Wastington.

Stronach, P. M., Rudd, T., and Lester, J. N.,1986. Digestion Processes in Industrial Wastewater Treatment, Springe, London.

Tait, SJ., and Friedam, AA., 1980. Anaerobic rotating biological contactor for carbonaceous wastewater, JWPCF,52:2257-2269.

Thauer, R. K., Jungerman, K., Decter, K., 1977. Bacterio. Rev., 41:514-524.

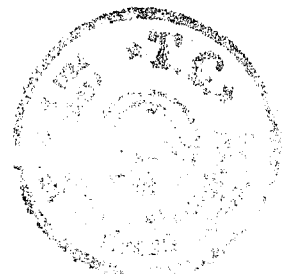
Thauer, RK., 1981. Biochem. and enegetics, 2nd Int. Symposium an anaerobic digestion ,<sup>s</sup> Traveminde, Germany,150.

Van den Berg, L., 1977. Effect of temperature on growth and activity of a methanogenic culture utilizing acetate, Canadian Journal of Microbio.,23:898-902

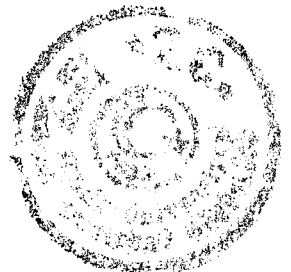
Van den Berg L and Lentz. CP., 1980. Performance and stabiliy of anaerobic contact process as affected by waste composition inoculation and solids retention time, Proceedings of 35th Ind. Waste Conf. , May, Purdue Univ. Ann Arbor Science, Mich., 496-501.

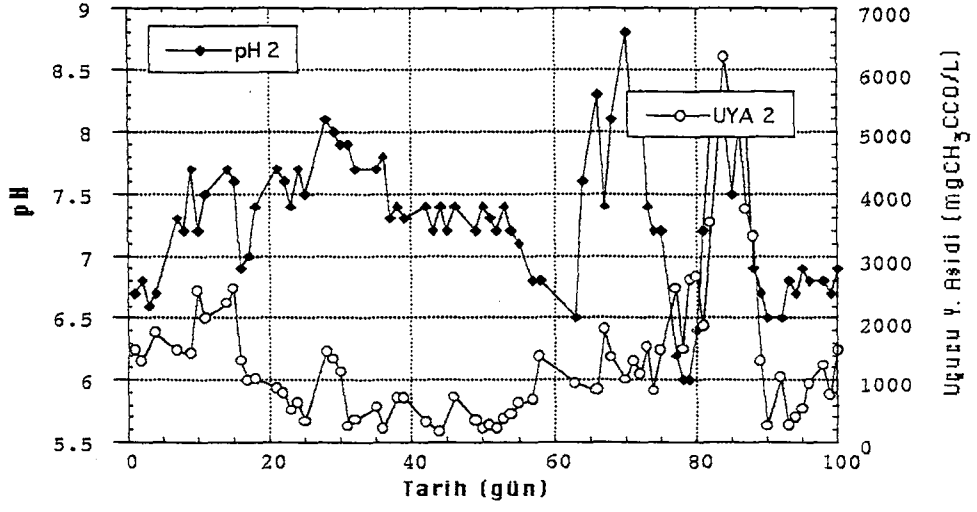


- Van den Berg, L, van der Geest AT., and Hobma S.,1980a. Effects of sulphate, iron and hydrogen on the microbial conversion of HAc to methane, *J. of App. Bacteriology*, 48:437-477.
- VanLier, J.B., Hulsbeek, J., Stams, A.J.M., and Lettinga, G., 1993. Temperature susceptibility of thermophilic sludge, *Bioresource Technology*, 43:227-235.
- Varel, VH., Iseacson, HR., And Bryant, MP., 1977. Thermophilic methane production from cattle waste , *App.Env.Mic.* 33,298-307.
- Wiegant, WM., and Lettinga G., 1985. Termophilic anaerobic digestion of sugars, *Biotech. and Bioeng.*, 27:1603-1607.
- Wiegant, WM., 1986. Thermophilic anaerobic wastewater treatment, *Pro. of EWPCA Conf., Amsterdam*, p.115.
- Wiegant,M.,and Lettinga,G.,1986.Separation of propionate degradation to improve the efficiency of thermophilic treatment *Wat. Res.*, 20(4): 517-524.
- Zeikus, JG (1980) Chemical and fuel production by anaerobik bacteria, *Annual Rev.Microbio.*34,423-427.
- Zeikus, JG., and Wolte, RS., 1972. *Methanobacterium thermoautotrophicus*, an anaerobic, autotrophic, extreme thermophiles., *J.Bacteriol.*,109:707-713.
- Zinder, SH.,and Mah, RA., 1979. Isolation and characterization of a thermophilic strain unable to use of H<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>, *App.Env.Microbio.*, 38:996-1008.
- Zinder,SH.,1988. Conversion of acetic acid to methane by thermophiles,5th international symposium, Bologna, Italy, Pergamon Press, pp.1-12.
- Zoetemeyer, RJ., 1982. Acidogenesis of soluble carbohydrate containing wastewater, Ph.D. thesis, Univ.of Amsterdam.

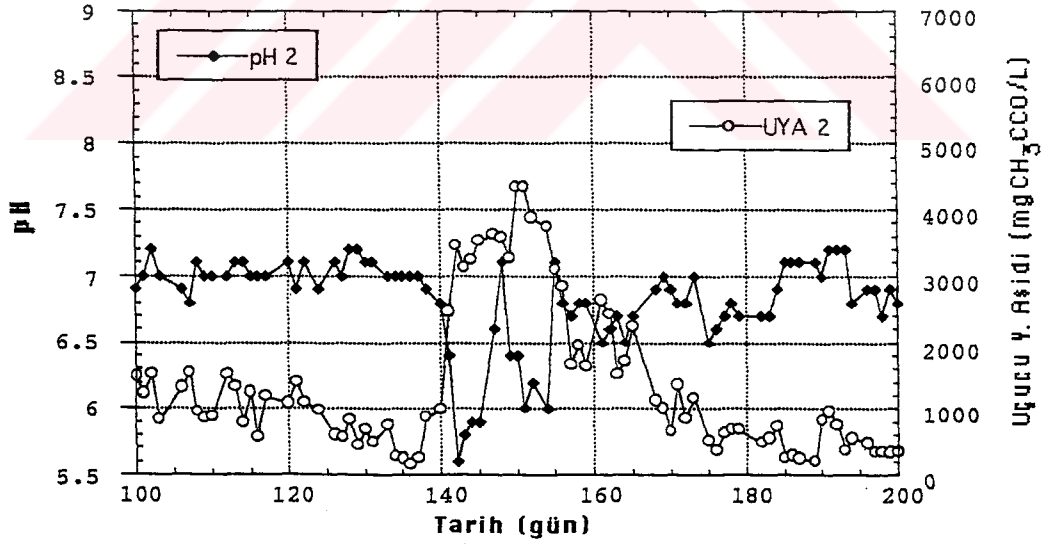


EKLER





( a )

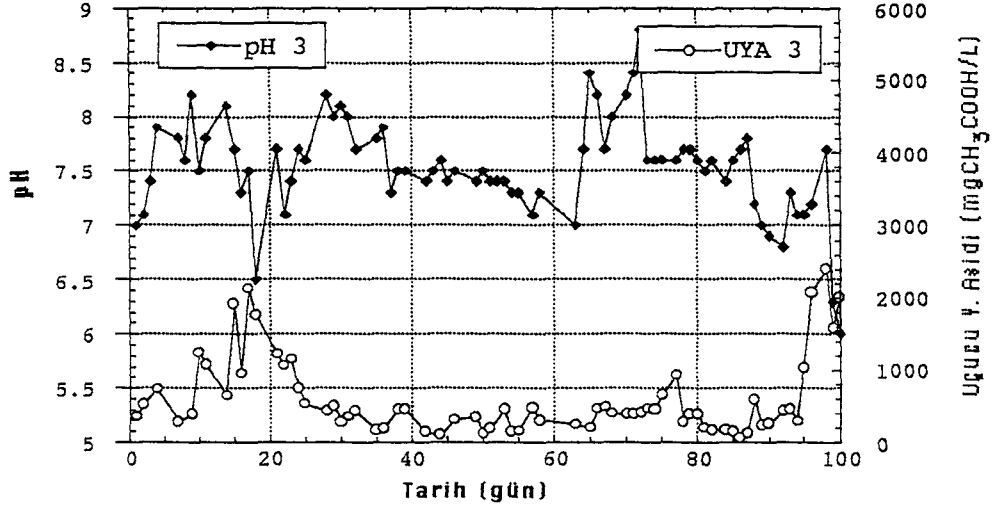


( b )

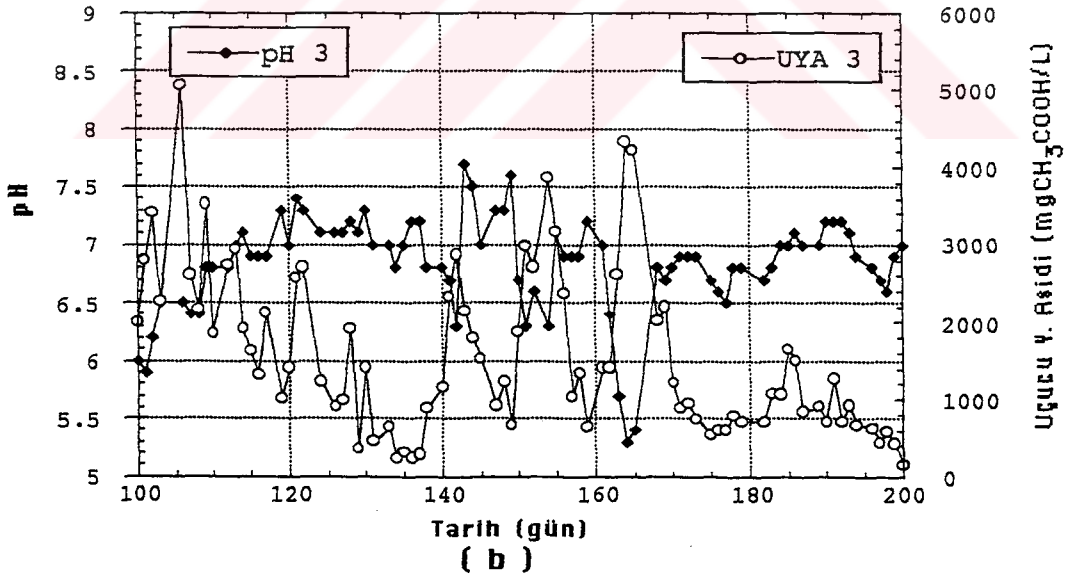
Şekil E1.. Reaktör 2' de pH ve UYA değişimi.





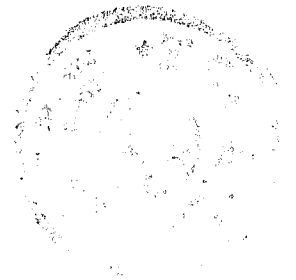


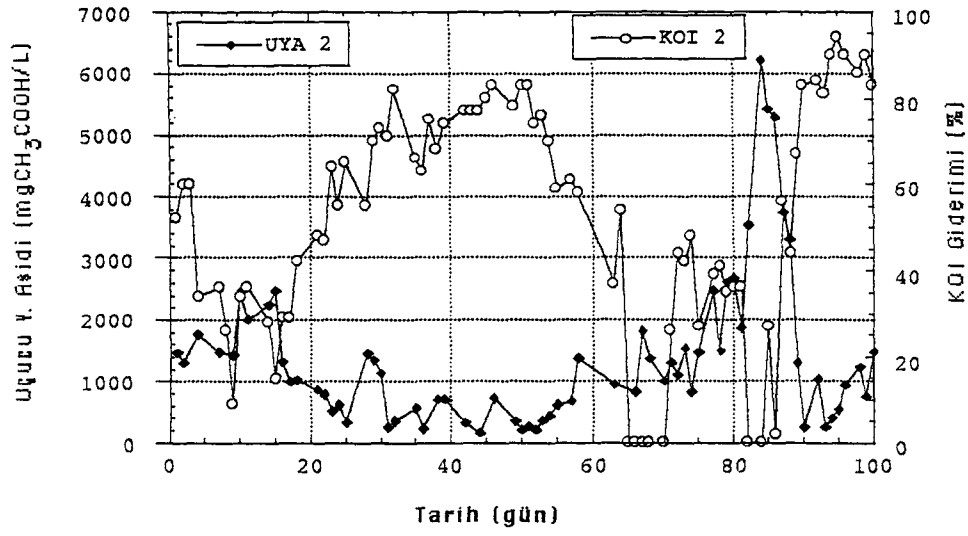
( a )



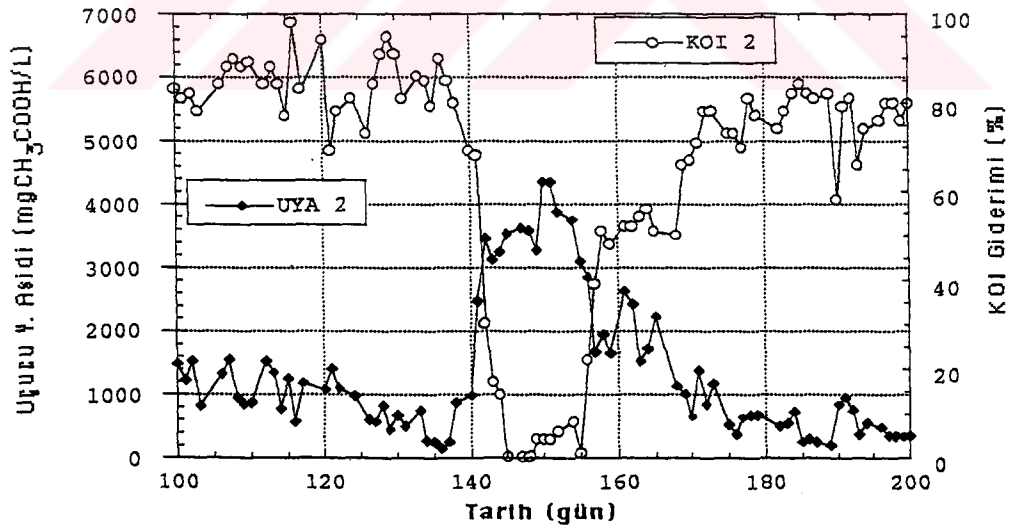
( b )

Şekil E2. Reaktör 3' te pH ve UYA değişimi.



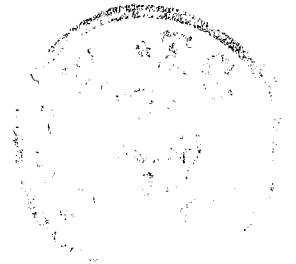


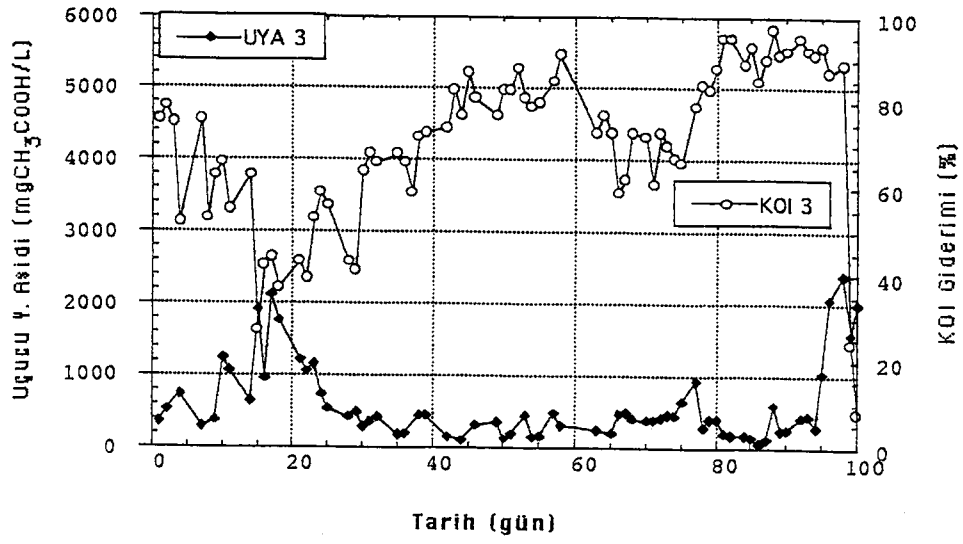
( a )



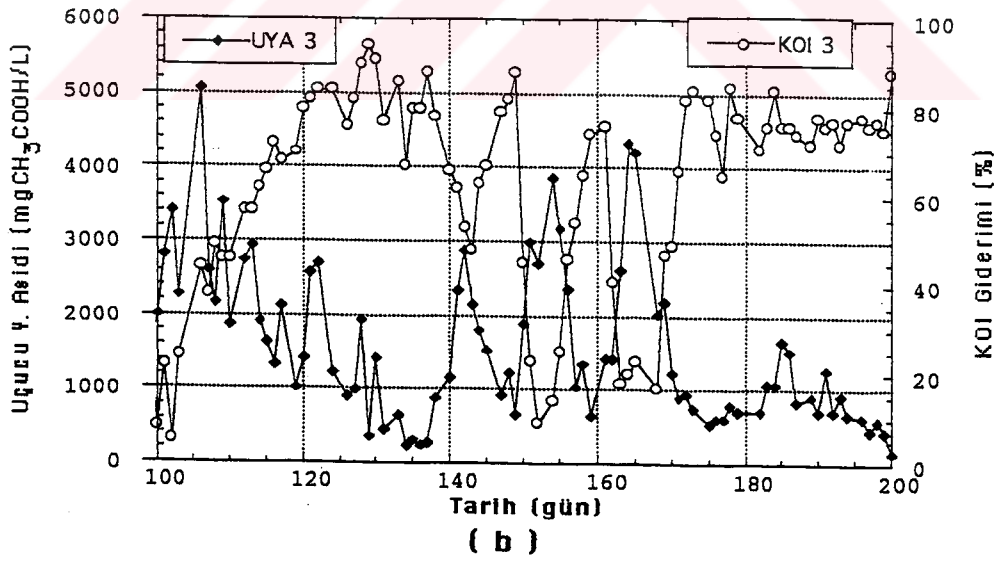
( b )

Şekil E3. Reaktör 2' de UYA ve KOİ değişimi.



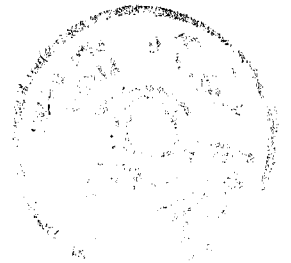


( a )



( b )

Şekil E4. Reaktör 3' te UYA ve KOİ değişimi.

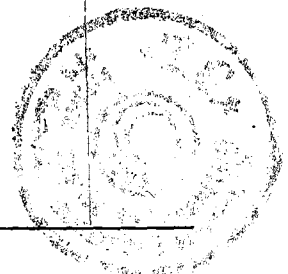


Tablo E1. Devreye Alma Kademesindeki Deneş Sonuçları.

#1 - "Alk-pH verileri"

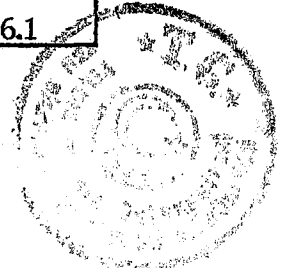
Friday, September 23 4:28 PM 19

Alk 1	Alk 2	Alk 3	Alk g	pH 1	pH 2	pH 3	pH g	Sic.1	Sic.2	Sic.3
7600	7220	7440						34	34	34
4040	4060	3040	2460	8.6	8.72	8.64	6.83	37	35	35
								37	37	38
								38	38	40
3880	3500	3720		8.3	8.2	8.5	7.83	34.5	34.5	34.5
2060	1980	1680	3100	7.7	7.55	7.34	6.71	36	36	38
1820	1860	1300	620	7.6	7.5	7.35	5.75			
								20	20	20
								20	20	20
				Arızalı				20	20	20
								20	20	20
								20	20	20
3020	1960	3400		7.67	7.5	7.4	6.44	20	20	20
2140	1720	2520						35	35	35
								35	35	35
								20	20	20
				Arızalı				20	20	20
								20	20	20
								20	20	20
								20	20	20
2200	3600	4600	7200	7.66	7.55	7.75	7.84	39	39	39
	1960	2120	2600	7.7	7.6	7.8	7.7	52	52	52
								52	51	54
								53	53	53
2140	2340	1880	1400	8	7.8	7.75	6.57	53	52	52
1300	1260	1300	960	7.4	7.3	7.4	7.4	54	54	51
1880	1940	1720	1400	7.2	6.7	7.1	6.9	53	53	53
1300	1420	1520		7.3	7	7.3		50	50	50
1500	1460	1580		6.9	6.8	6.9		54	53	52
1700	1700	1760		7.1						
1440	1380	1400		7.2	6.9	7		52	53	52
1460	1500	1580	1620	7.4	7.2	7.2	7.8	53	52	53
1460	1480	1460	1560	7.3	7.4	7.3	7.8	54	54	55
1380	1360	1380	1400	6.9	6.8	6.9	7	54	53	56
1540	1560	1520	1520	7	7	7	7.4			
1240	1220	1260	1140	6.6	6.4	6.5	6.3	54	50	53
1280	1260	1240	1200					36	37	36
1220	1300	1260	1180	7.1	7	7.1	7.2	54	53	53
1620	3080	2100	1640	7.5	7.1	7.1	7.1	52	52	52
1680	1900	1740	1720	6.9	6.8	6.7	6.9	55	55	53
1720	1940	1920	1540	6.9	7	7.1	7.1	54	54	55
								53	53	53
1880	1860	1900	1560							
1840	1920	2000	1900	7.3	7.3	7.3	7.3			
2100	2140	2080	2000	7.1	7.2	7	6.8			
1580	1860	1440	1140	6.8	6.9	6.7	5.9			
1280	1400	1080	840	6.7	6.8	6.6	5.7			
1020	1160	1040	840	6.4	6.6	6.7	5.8			
2400	2200	2280	2160							

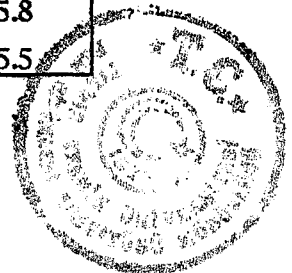


Tablo E2. Şok Değişim Deneyleri Esnasında Elde Edilen Veriler.

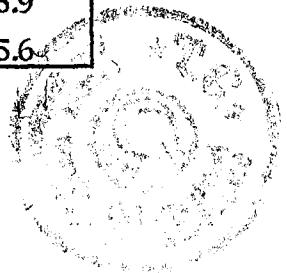
Zaman (gün)	Alk.2 (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alk 3 (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Alk Giriş (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	pH 2	pH 3	pH Giriş
1	1660	1640	1120	6.7	7	5.7
2	2320	2360	760	6.8	7.1	4
3	1640	2280	1180	6.6	7.4	5.2
4	2040	2180	1160	6.7	7.9	5.7
7	1660	2000	1500	7.3	7.8	6.6
8	1640	1900	1700	7.2	7.6	6.6
9	2100	2280	1800	7.7	8.2	7.2
10	2780	2820	1920	7.2	7.5	6.2
11	2620	2580	1800	7.5	7.8	6
14	2600	3140	1280	7.7	8.1	5.7
15	1720	2040	1200	7.6	7.7	5.8
16	1640	1700	1240	6.9	7.3	5.7
17	1900	2100	1500	7	7.5	6.2
18	2200	1500	1450	7.4	6.5	6.4
21	1700	1800	500	7.7	7.7	5.9
22	1520	1420	700	7.6	7.1	3.5
23	1580	1400	420	7.4	7.4	6.1
24	1960	1720	740	7.7	7.7	6.4
25	2360	2260	880	7.5	7.6	6.2
28	2900	3160	1500	8.1	8.2	6.9
29	2800	2740	1440	8	8	6.8
30	2760	2900	1860	7.9	8.1	7.2
31	3200	2740	1860	7.9	8	7.2
32	2840	2780	1420	7.7	7.7	6.4
35	2500	2700	1520	7.7	7.8	7
36	2440	2500	1780	7.8	7.9	7.5
37	2400	2560	1040	7.3	7.3	6.2
38	2780	2900	1220	7.4	7.5	6.2
39	3020	2980	1520	7.3	7.5	6.1



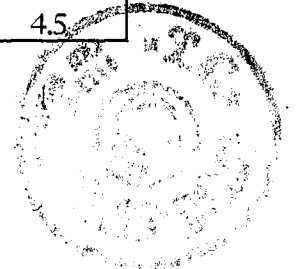
Zaman (gün)	Alk.2 (mg CaCO3/L)	Alk 3 (mg CaCO3/L)	Alk Giriş (mg CaCO3/L)	pH 2	pH 3	pH Giriş
42	2260	2320	1460	7.4	7.4	6.2
43	2360	2420	1400	7.2	7.5	6.2
44	2340	2500	1640	7.4	7.6	6.5
45	2640	2700	1700	7.2	7.4	6.1
46	2820	2780	1660	7.4	7.5	6.2
49	2900	2960	1900	7.2	7.4	6.2
50	3060	2880	1920	7.4	7.5	6.2
51	2720	2960	1860	7.3	7.4	6
52	2660	2800	2040	7.2	7.4	6
53	2440	2620	1840	7.4	7.4	5.8
54	2640	2900	1500	7.2	7.3	5.6
55	2500	2620	1520	7.1	7.3	5.7
56	-	-	-	-	-	-
57	2080	680	2560	6.8	7.1	4.8
58	2080	2640	1580	6.8	7.3	5.6
59	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-
61	-	-	-	-	-	-
62	-	-	-	-	-	-
63	1420	1600	960	6.5	7	5.4
64	1700	1940	1340	7.6	7.7	5.6
65		1900	1320		8.4	4.9
66	1860	1780	1300	8.3	8.2	4.9
67	3020	2080	1600	7.4	7.7	6.2
68	3000	2240	1700	8.1	8	6.4
70	3100	2180	1660	8.8	8.2	6.3
71	2040	2220	1260	8	8.4	6.5
72	2100	2240	1720	8.3	8.8	6.6
73	1300	1440	640	7.4	7.6	5.8
74	1700	1760	960	7.2	7.6	5.5



Zaman (gün)	Alk.2 (mg CaCO3/L)	Alk 3 (mg CaCO3/L)	Alk Giriş (mg CaCO3/L)	pH 2	pH 3	pH Giriş
75	1700	1200	960	7.2	7.6	5.6
77	1220	1280	860	6.2	7.6	5
78	1700	1420	1040	6	7.7	4.8
79	1320	2020	860	6	7.7	4.8
80	1400	1360	1120	6.4	7.6	5.2
81	2240	2080	1140	7.2	7.5	6.6
82	1960	1480	1380	8.2	7.6	5.6
84	2540	1840	1100	8.1	7.4	4.6
85	1100	1780	800	7.5	7.6	5.3
86	2160	1560	740	8	7.7	5.2
87	2220	2100	900	8	7.8	5.2
88	1320	2100	1080	6.9	7.2	4.5
89	1400	2200	1360	6.7	7	5.4
90	1320	2300	1140	6.5	6.9	4.5
92	1220	2120	1220	6.5	6.8	4.5
93	1200	2140	1460	6.8	7.3	4.7
94	1340	2080	1560	6.7	7.1	5.1
95	2200	2800	1820	6.9	7.1	5.1
96	2280	2320	1280	6.8	7.2	5.7
98	2380	3660	1140	6.8	7.7	4.7
99	2500	2320	1380	6.7	6.3	4.3
100	2420	2260	1220	6.9	6	4.6
101	2760	2580	1360	7	5.9	4.8
102	2180	2740	1160	7.2	6.2	4.7
103	2660	2720	1760	7	6.5	4.7
106	2680	2500	1240	6.9	6.5	5.9
107	1720	2480	1660	6.8	6.4	5.6

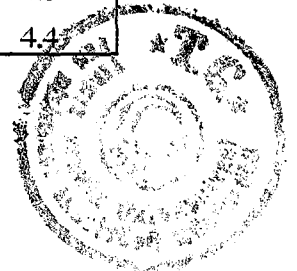


Zaman (gün)	Alk.2 (mg CaCO3/L)	Alk 3 (mg CaCO3/L)	Alk Giriş (mg CaCO3/L)	pH 2	pH 3	pH Giriş
108	2660	2540	1620	7.1	6.4	5.7
109	2820	2740	1580	7	6.8	5.5
110	2700	2720	1580	7	6.8	5.3
112	1500	2480	1100	7	6.8	4.8
113	2080	2360	1240	7.1	7	5.7
114	2440	2580	1500	7.1	7.1	5.3
115	2540	2680	1120	7	6.9	5.3
116	1820	2580	1440	7	6.9	5.2
117	2580	2600	1280	7	6.9	5.3
119	-	2480	1500	-	7.3	5.6
120	2620	2500	1300	7.1	7	5.8
121	1840	2520	1520	6.9	7.4	5.6
122	2420	2320	1360	7.1	7.3	5.1
123	-	-	-	7	7.1	5.4
124	2600	2560	1460	6.9	7.1	5.9
126	2700	2660	1820	7.1	7.1	5.8
127	2960	2740	1880	7	7.1	5.9
128	2900	2700	2000	7.2	7.2	6.1
129	2840	2940	2160	7.2	7.1	6.1
130	2940	2820	2140	7.1	7.3	6.2
131	2520	2420	1360	7.1	7	5.9
133	2280	2160	1520	7	7	5.9
134	2520	2460	1700	7	6.8	5.6
135	2120	2480	1740	7	7	5.6
136	2620	2640	2040	7	7.2	5.9
137	2460	2700	2300	7	7.2	6.3
138	2200	2500	1200	6.9	6.8	4.9
140	2120	2240	1220	6.8	6.8	4.5





Zaman (gün)	Alk.2 (mg CaCO3/L)	Alk 3 (mg CaCO3/L)	Alk Giriş (mg CaCO3/L)	pH 2	pH 3	pH Giriş
141	1440	2720	2240	6.4	6.7	5.1
142	2260	2760	1640	5.6	6.3	5.9
143	2700	2840	1420	5.8	7.7	6
144	2760	3240	1960	5.9	7.5	6.2
145	3080	3260	1440	5.9	7	5.5
147	3840	4260	2260	6.6	7.3	5
148	3920	3700	1780	7.1	7.3	4.6
149	3700	3740	1620	6.4	7.6	4.6
150	3440	2860	1640	6.4	6.7	4.8
151	3500	3320	1980	6	6.3	4.9
152	3100	3560	2300	6.2	6.6	4.6
154	3240	3860	1920	6	6.3	4.7
155	3860	4100	1500	7.1	7.1	5.7
156	3120	2840	1120	6.8	6.9	6.1
157	2740	2240	1760	6.7	6.9	5.5
158	2320	2040	940	6.8	6.9	5.4
159	2040	2080	820	6.8	7.2	5.1
161	2200	2840	1240	6.5	7	4.7
162	2220	2120	940	6.6	6.4	4.7
163	2080	2020	980	6.7	5.7	4.5
164	2160	1860	1000	6.5	5.3	4.9
165	2300	2320	1100	6.7	5.4	5
166	-	-	-	6.9	6.1	5.4
168	2500	2680	2300	6.9	6.8	5.6
169	2680	2420	2040	7	6.7	5.7
170	2400	2020	1140	6.9	6.8	5.3
171	2060	1720	780	6.8	6.9	4.5
172	1720	1860	680	6.8	6.9	4.3
173	1700	1480	600	7	6.9	4.4

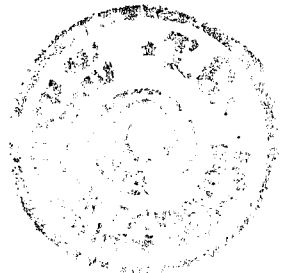


Tablo E2 . Şok Değişim Deneyleri Esnasında Elde Edilen Diğer Sonuçlar.

Zaman (gün)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	KOİ Verimi(%)	KOİ Verimi(%)	UYA 2 (mgHAc/L)	UYA 3 (mgHAc/L)
1	52	52	52	76	1470	352
2	52	53	60	79	1300	522
3	53	53	60	75	-	-
4	53	53	34	52	1760	730
7	53	54	36	76	1480	280
8	52	53	26	53	-	-
9	53	53	9	63	1425	380
10	53	53	34	66	2440	1240
11	53	52	36	55	2005	1075
14	47	49	28	63	2245	640
15	55	54	15	27	2470	1920
16	55	54	29	42	1310	955
17	57	54	29	44	990	2120
18	56	55	42	37	1025	1765
21	56	54	48	43	860	1215
22	56	55	47	39	775	1060
23	56	55	64	53	510	1150
24	55	56	55	59	620	735
25	56	55	65	56	330	535
28	57	57	55	43	2760	425
29	57	55	70	41	1340	495
30	57	55	73	64	1130	280
31	57	55	71	68	255	355
32	57	54	82	66	355	425
35	57	56	66	68	565	170
36	57	55	63	66	225	185
37	54	55	75	59	-	-
38	55	55	68	72	705	450
39	55	55	74	73	705	450



Zaman (gün)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	KOİ Verimi(%)	KOİ Verimi(%)	UYA 2 (mgHAc/L)	UYA 3 (mgHAc/L)
42	55	55	77	74	325	140
43	48	47	77	83	-	-
44	54	54	77	77	155	100
45	54	54	80	87	-	-
46	55	55	83	81	720	310
49	56	54	78	77	350	350
50	55	55	83	83	210	115
51	50	55	83	83	270	185
52	50	55	74	88	210	
53	52	56	76	81	365	450
54	51	55	70	79	440	140
55	48	52	59	80	620	155
56	-	-	-	-	-	-
57	49	56	61	85	680	480
58	52	57	58	91	1370	305
59	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-
63	52	56	37	73	945	240
64	27	30	54	77	-	-
65	29	54	-	73	-	200
66	53	54	-	59	830	465
67	54	56	-	62	1810	485
68	54	56	-	73	1365	400
70	54	56	-	72	1000	380
71	53	56	-	61	1300	390
72	54	56	44	73	1100	415



Zaman (gün)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	KOİ Verimi(%)	KOİ Verimi(%)	UYA 2 (mgHAc/L)	UYA 3 (mgHAc/L)
73	53	56	42	70	1540	465
74	52	56	48	67	820	450
75	52	56	27	66	1470	650
77	53	56	39	79	2470	930
78	53	56	41	84	1495	280
79	53	57	35	83	2610	395
80	52	56	36	88	2670	395
81	53	56	-	95	1865	200
82	52	56	-	95	3530	170
84	52	56	-	89	6210	170
85	52	56	-	93	5420	140
86	53	56	-	85	5280	57
87	56	56	56	90	6220	115
88	54	57	44	97	3305	590
89	55	55	67	91	1295	235
90	50	50	83	92	255	255
92	55	55	84	95	1035	425
93	55	55	81	92	260	450
94	55	55	90	91	400	285
95	55	56	94	93	540	1035
96	55	55	90	87	940	2070
98	55	58	86	89	1235	2400
99	55	56	90	24	755	1575
100	55	56	83	8	1485	2000
101	55	56	81	22	1225	2800
102	55	56	82	5	1520	3410
103	55	58	78	24	820	2260



Zaman (gün)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	KOİ Verimi(%)	KOİ Verimi(%)	UYA 2 (mgHAc/L)	UYA 3 (mgHAc/L)
106	53	57	84	44	1320	5060
107	55	57	88	38	1555	2600
108	55	56	90	49	2660	2165
109	55	56	88	46	850	3530
110	57	56	89	46	870	1860
112	55	57	84	57	1530	2735
113	55	58	88	57	1340	2940
114	55	58	84	62	775	1910
115	55	57	77	66	1250	1625
116	55	57	98	72	565	1320
117	55	56	83	68	1180	1410
119	55	56	85	70		1010
120	55	58	94	80	1080	1410
121	54	54	69	82	1410	2565
122	54	59	78	84	2890	2705
	54	58	89	86	900	2275
124	55	57	81	84	965	1225
126	54	56	73	76	600	900
127	53	56	84	82	2005	990
128	54	56	91	90	820	1920
129	54	56	95	94	450	355
130	54	57	91	91	680	1410
131	54	56	81	77	495	450
133	54	51	86	86	755	635
134	53	55	85	67	275	235
135	54	56	79	80	240	310



Zaman (gün)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	KOİ Verimi(%)	KOİ Verimi(%)	UYA 2 (mgHAc/L)	UYA 3 (mgHAc/L)
136	54	56	90	80	155	240
137	54	57	85	88	255	280
138	54	56	80	78	875	885
140	54	56	69	66	990	1155
141	54	57	68	62	2470	2330
142	54	56	30	53	3460	2870
143	54	57	17	48	3130	2140
144	54	56	14	63	3245	1790
145	54	56	0	67	3530	1530
147	55	56	0	79	3625	920
148	54	56	0	82	3575	1225
149	54	56	4	88	3270	660
150	55	56	21	45	4355	1880
151	49	50	4	23	4355	2990
152	55	56	6	9	3880	2705
154	55	56	8	14	3740	3860
155	55	56	1	25	3105	3175
156	56	56	22	46	2845	2360
157	55	56	39	54	1670	1035
158	55	56	51	65	1955	1340
159	54	55	48	74	1645	635
161	55	57	52	76	2635	1410
162	54	56	52	41	2425	1410
163	55	55	54	18	1530	2615
164	55	55	56	20	1720	4330
165	55	54	51	23	2235	4210
166	54	57	54	8	3645	2375



Zaman (gün)	Sıcaklık (°C)	Sıcaklık (°C)	KOİ Verimi(%)	KOİ Verimi(%)	UYA 2 (mgHAc/L)	UYA 3 (mgHAc/L)
168	54	56	50	17	1130	2020
169	54	56	66	47	3010	2190
170	54	56	67	49	660	1215
171	54	56	71	66	1365	890
172	54	57	78	82	845	945
173	54	56	78	84	1170	750
175	55	56	73	82	520	535
176	49	56	73	74	380	605
177	57	44	70	65	635	605
178	55	57	81	85	680	790
179	54	56	77	78	680	705
180	54	57	74	76	380	310
182	45	57	74	71	495	705
183	55	61	78	76	550	1075
184	54	54	82	84	735	1060
185	54	53	84	76	255	1650
186	54	53	82	76	295	1510
187	54	53	81	74	240	835
189	44	53	82	72	200	905
190	22	52	58	78	835	705
191	55	54	79	76	960	1270
192	54	51	81	77	760	705
193	54	52	66	72	380	920
194	54	52	74	77	550	665
196	54	51	76	78	480	620
197	49	41	80	76	355	440
198	54	52	80	77	355	580
199	53	52	76	75	340	425
200	53	51	80	88	355	155



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Gürdal KANAT  
**Doğum Tarihi** : 17.05.1967  
**Doğum Yeri** : Kırklareli

## ÖĞRENİM DURUMU

<b><u>Bitirdiği Okul</u></b>	<b><u>Bölüm</u></b>	<b><u>Öğrenim Yılı</u></b>
Kırklareli Atatürk Lisesi	Lise	1981 - 1984
İstanbul Teknik Üniversitesi	Çevre Müh. (Lisans)	1984 - 1988
İstanbul Teknik Üniversitesi	Çevre Müh. (Y.Lisans)	1988 - 1990
Yıldız Teknik Üniversitesi	Çevre Müh. (Doktora)	1990 - .....
I.H.E ( International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering.) Delft, Hollanda.	International Post-Graduate Diploma Course for Sanitary Engineering ( M. Sc.)	1992 - 1993

## MESLEKİ TECRÜBESİ

<b><u>Çalıştığı Yer</u></b>	<b><u>İşin Türü</u></b>	<b><u>Başlama Tarihi</u></b>
Y.T.Ü Çevre Mühendisliği Bölümü	Araştırma Görevlisi	Mayıs 1989

## YABANCI DİL BİLGİSİ

İngilizce

