**T. C**
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# BEYAZ PEYNİR VE YOĞURT ÜRETİMİ ATIKSULARININ YUKARI AKIŞLI ARDIŞIK ANAEROBİK ÇAMUR YATAĞI REAKTÖRLERLE ARITIMI

**Emine TINKIR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Şubat 2010**

**T. C**
**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# BEYAZ PEYNİR VE YOĞURT ÜRETİMİ ATIKSULARININ YUKARI AKIŞLI ARDIŞIK ANAEROBİK ÇAMUR YATAĞI REAKTÖRLERLE ARITIMI

**Emine TINKIR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 02/02/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.**

| Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ | Yrd. Doç. Dr. Esra YEL | Yrd. Doç. Dr. Ergun PEHLİVAN |
|---|---|---|
| (Danışman) | (Üye) | (Üye) |

# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

**BEYAZ PEYNİR VE YOĞURT ÜRETİMİ ATIKSULARININ YUKARI AKIŞLI ARDIŞIK ANAEROBİK ÇAMUR YATAĞI REAKTÖRLERLE ARITIMI**

**Emine TINKIR**

**Selçuk Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ**

**2010, 80 sayfa**

**Jüri : Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ**

**Yrd. Doç. Dr. Esra YEL**

**Yrd. Doç. Dr. Ergun PEHLİVAN**

Günümüzde endüstri kaynaklı atıksularının arıtımı, alıcı ortam deşarj standartlarının sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma; ülkemizde, özellikle İç Anadolu bölgesinde yaygın olarak faaliyet gösteren Süt Ürünleri Endüstrisinin iki kolu; Beyaz Peynir ve Süzme Yoğurt Üretimi tesislerinde oluşan atıksuların Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörleri kullanılarak anaerobik arıtılabilirliğinin ve performansının ortaya konması açısından önem arz etmektedir. Söz konusu iki atıksu, diğer süt endüstrisi atıksularından farklı olarak asidik yapıdadır ve yüksek seviyede çözünmüş organik madde içermektedir.

Çalışmada ilk önce tek kademeli yukarı akışlı ardışık anaerobik çamur yatağı reaktörleri kullanılmıştır. Reaktörler, yoğurtaltı suyu için 1.13 g KOİ/L.gün, peyniraltı suyu için 1.26 g KOİ/L.gün organik yükleme ile beslenmiştir.Bu çalışma süresince; asidojenik ve metanojenik faaliyetlerin aynı reaktörde istenilen verimde olmadığı, reaktörlerde uçucu yağ asit miktarının fazla biriktiği ve KOİ gideriminin yeterli derecede olmadığı gözlenmiştir. Dolayısıyla iki kademeli yukarı akışlı ardışık anaerobik çamur yatağı reaktörlerine geçilmiş ve çalışmalara devam edilmiştir. Reaktörlerin adaptasyonu için 3 aylık bir süre geçmiştir. Adaptasyon süresince yoğurtaltı suyu için 1.28-6.5 g KOİ/L.gün organik yükleme aralığında çalışılmış ve KOİ için %80-83 verim elde edilmiştir. Peyniraltı suyu için 1.52-5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme aralığında çalışılmış ve KOİ için %85-88 verim elde edilmiştir. Arıtım çalışmaları boyunca organik yükleme değerindaki artışlar, atıksuyun besi çözeltisindeki seyrelme oranı düşürülerek uygulanmıştır. Organik yükleme değerinin arttırılması ile birlikte KOİ gideriminde %70-80' den %55-57'ye kadar azalma gözlenmiştir. Asitlenme reaksiyonları ön asitlenme tankında yüksek seviyede gerçekleşmiştir. 1. ve 2. kademe HÇYR' lerle arıtım sonucunda çıkış suyunda pH 7-8 seviyede kararlı hale gelmiştir. UYA giderim verimleri; yoğurtaltı suyu için % 90–95 ve peyniraltı suyu için %85–87 arasında elde edilmiştir. Uçuçu yağ asitlerinin etkin giderimine bağlı olarak bikarbonat miktarı artmıştır. Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörleri sistemi süt işleme proses atıksularının arıtılmasında yüksek miktarda organik madde giderimi sağlamıştır. Yüksek asitlenme, etkin uçucu yağ aisiti giderimi ile sistemde tolere edilmiştir. Sistemin, yüksek karakterde süt endüstrisi atıksularının arıtımında bir ön arıtım prosesi olarak kullanılması faydalı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Anaerobik arıtma, Yukarı akışlı ardışık anaerobik çamur yatağı reaktörleri, süt endüstrisi, peyniraltı suyu, yoğurtaltı suyu

## ABSTRACT

**Masters Thesis**

**ANAEROBIC TREATMENT OF CHEESE AND YOGHURT PRODUCTION WASTEWATERS WİTH UPFOLW ANAEROBİC SLUDGE BLANKET REACTORS**

**Emine TINKIR**

**Selcuk University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Environmental Engineering Department**

**Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ**

**2010, 80 Pages**

**Jury : Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ**

**Yrd. Doç. Dr. Esra YEL**

**Yrd. Doç. Dr. Ergun PEHLİVAN**

The treatment of industrial wastewaters has an important role to meet the regulated discharge standarts. This study deals with anaerobic treatment and performance of strong character dairy wastewaters such as cheese whey (CW) and yoghurt whey (YW) originating from milk processing plants nder operation especially in the Central Anatolia Region with sequential UASB reactors. Cheese whey (CW) and yoghurt whey (YW) have a high acidic character and content of and suspended organic matter rich in organic acids and fatty matter.

The adaptation period lasted for a period of three months during which stability was obtained with staging characteristics in the sequential system. 1.28 g COD/L.d and 1.52 g COD/L.d organic loads were choosen for yoghurt whey (YW) and cheese whey (CW) where %80-83 and %85-88 COD removals were obtained, respectively during the adaptation period. Treatment study began after the adaptaion period and increases in the organic loading rate (YW 1.28-6.5 g COD/L.d and CW 1.52-5.5 g COD/L.d) were applied by decreasing dilution ration of the wastewater fed to the sequential UASB reactors. It was observed that COD removal decreased from %70-80 to %55-57 with increasing OLR values. Feed tank undervident a high degree of acidification, thus, it behaved as a pre-acidification tank stabilized at 7-8 in the effluent.Volatile fatty acid removal was obtained as %90-95 and %85-87 for yoghurt whey (YW) and cheese whey (CW) respectively. $HCO_3$ concentration increased depends on volatile fatty acid active removal. High amounts of organic matter removal was obtained in dairy wastewater treatment sequantial UASB reactors system. High volatile fatty acid production was tolerated by with efficient volatile fatty acid removal. The system proved useful for pre-treatment purpose in high character dairy waste waters biological treatment.

**Keywords:** Anaerobic treatment, UASB reactor, dairy industry, cheese whey, yoghurt whey.

# ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında hiçbir yardımını esirgemeyen, her türlü problemimi titizlikle ele alan, tezi tamamlamamda önemli katkıları olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Dilek ERDİRENÇELEBİ' ye , bana büyük emeği geçen, beni yetiştirip bu konuma ulaşmamı sağlayan aileme, son olarak da tez çalışması boyunca yanımda olan eşim Mustafa TINKIR' a sonsuz teşekkür ederim.

Çevre Mühendisi Emine TINKIR

Konya, 2010

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa No**

ÖZET……i

ABSTRACT……iii

ÖNSÖZ……v

İÇİNDEKİLER……vi

TABLO LİSTESİ……..x

ŞEKİL LİSTESİ……...xi

RESİM LİSTESİ……..... xv

KISALTMALAR……...xvi

SİMGELER……...……...xvii

1. GİRİŞ……1

1.1. Anaerobik Arıtma……3

1.2. Anaerobik Arıtım Temelleri……4

1.2.1. Hidroliz……4

1.2.2. Asit oluşumu……5

1.2.3. Metan oluşumu……5

1.3. Anaerobik Arıtımı Etkileyen Çevresel Faktörler……6

1.3.1. Hidrolik ve organik yükleme değişimlerin etkisi..……6

1.3.2. pH' ın etkisi..……8

1.3.3. Sıcaklığın etkisi..……..…….8

1.3.4. Zehirliliğin etkisi..……...…….9

1.3.5. Özel bileşiklerin etkisi..……...……..10

1.3.6. Alıkonma Süresinin etkisi..……...…..……..12

1.4. Anaerobik Biyoteknolojinin Üstünlükleri ……..….12

1.4.1. İşletim kararlılığı……...……...…12

1.4.2. Atık biyokütle miktarları ve reaktör hacimlerinde azalma ……12

1.4.3. Enerji tasarrufu ve üretimi……..……13

1.4.4. Atıkgaz sorunu……..……...……13

1.4.5. Köpüklenme sorunu……..……...……13

1.4.6. Aerobik olarak arıtılamayan kirleticilerin arıtımı ……..……14

1.4.7. Mevsimsel arıtım……..……..……14

1.5. Anaerobik Reaktör Tipleri…….….14

1.5.1. Tam karışımlı anaerobik reaktör……...……...…14

1.5.2. Anaerobik kontak proses reaktörü.……...……...…15

1.5.3. Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörü……...…15

1.5.4. Genleşmiş çamur yatağı reaktörü……..……...…15

1.5.5. Akışkan yataklı anaerobik reaktörü……..……...…16

1.5.6. Anaerobik filtreler……..……...…..…16

1.6. Süt Endüstrisi Atıksuları ve Özellikleri…….….16

1.6.1. Peyniraltı suyunun (PAS) ve Yoğurtaltı suyunun (YAS) özellikleri…….18

1.6.2. Peyniraltı suyunun (PAS) ve Yoğurtaltı suyunun (YAS) değerlendirilmesi…….20

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI…….…….……21

3. MATERYAL VE METOT...…….…….……29

3.1. Deneylerde Kullanılan Peyniraltı Suyu-Yoğurtaltı Suyu ve Anaerobik Aşı Çamurunun Karakterizasyonu…….....29

3.2. Deney Düzeneği…….…….30

3.2.1. Reaktörler…….……..……...…..…30

3.3. Deneysel Parametrelerin Belirlenmesi…..…….32

3.3.1. Sıcaklık...…….……..……...…..…32

3.3.2. pH……...…….……...……...…..…32

3.4. Analiz Yöntemleri……...…..…….32

3.5. Atıksu Beslemeleri..…….……...…..…….33

3.5.1. Tek kademeli yukarı akışlı ardışık anaerobik çamur yatağı reaktörlerinin (HÇYR) beslenmesi ……...…..…33

3.5.2. İki kademeli yukarı akışlı ardışık anaerobik çamur yatağı reaktörlerinin (HÇYR) beslenmesi ……...…..…34

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA…..……..……36

4.1. Adaptasyon Dönemi Çalışmaları…...…..…….…….36

4.2. İki Kademeli Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörlerde Arıtım Çalışmaları (HÇYR).…….……..…….45

4.2.1. KOİ giderimi ( YAS için 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün, PAS için 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)……46

4.2.2. KOİ giderimi ( YAS için 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3 – 4.375 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)…….……..48

4.2.3. KOİ giderimi ( YAS için 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)……....49

4.2.4. KOİ giderimi (PAS için 6 – 6.75 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)……...51

4.2.5. Asitlenme ve pH/$HCO_3$/UYA dengesi ( YAS için 2.75 –4.25 g KOİ/L.gün, PAS için 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)……...54

4.2.6. Asitlenme ve pH/ $HCO_3$/UYA dengesi ( YAS için 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3 – 4.375 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)…….……...……...60

4.2.7. Asitlenme ve pH/ $HCO_3$/UYA Dengesi ( YAS için 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)……...……64

4.2.8. Asitlenme ve pH/ $HCO_3$/UYA Dengesi (PAS için 6 – 6.75 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)……..……..68

5. SONUÇ VE ÖNERİLER……...…..…….……75

6. KAYNAKLAR……..…..……77

## TABLO LİSTESİ

**Sayfa No**

Tablo 1.1 Bazı maddelerin anaerobik işlemi durdurucu derişimleri……..……10

Tablo 1.2 Süt ve süt ürünleri işletmelerinin coğrafik dağılımı……..….18

Tablo 1.3 Peyniraltı suyunun atık özellikleri.....20

Tablo 3.1 Yoğurtaltı ve peyniraltı sularının karakterizasyon değerleri.....30

Tablo 4.1 Birinci kademe HÇYR çıkış KOİ verimi, ikinci kademe HÇYR çıkış KOİ verimi ve toplam KOİ verimi.....53

Tablo 4.2 Birinci ve ikinci kademe HÇYR' de pH ve UYA giderimleri ve toplam UYA giderimi.....71

Tablo 4.3 Organik yükleme değerlerine karşın toplam KOİ ve UYA giderimi….....72

Tablo 4.4 Çıkış suyu pH/$HCO_3$/UYA değerleri.....73

Tablo 4.5 Süt endüstrisi atıksuları üzerine yapılan çalışmalar ve sonuçları……..74

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa No**

Şekil 1.1 Anaerobik arıtma süreci.....4

Şekil 1.2 Anaerobik atıksu işleminde kompleks organiklerin metana dönüştürülmesinin basitleştirilmiş iki adımlı prosesi.....6

Şekil 4.1 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi KOİ değişimi.....37

Şekil 4.2 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi KOİ değişimi.....38

Şekil 4.3 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi UYA değişimi.....39

Şekil 4.4 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi UYA değişimi.....40

Şekil 4.5 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi $HCO_3^-$ değişimi.....41

Şekil 4.6 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi $HCO_3^-$ değişimi.....42

Şekil 4.7 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi pH değişimi.....43

Şekil 4.8 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi pH değişimi.....43

Şekil 4.9 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi……..……..46

Şekil 4.10 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi……..47

Şekil 4.11 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi…….…….……48

Şekil 4.12 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi……49

Şekil 4.13 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi……50

Şekil 4.14 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi…….…….51

Şekil 4.15 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6– 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi……52

Şekil 4.16 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi…….…..54

Şekil 4.17 (a) YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi…….…..55

Şekil 4.17 (b) YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi…….……..56

Şekil 4.18 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi……...……57

Şekil 4.19 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi……..…….58

Şekil 4.20 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi……...……59

Şekil 4.21 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi……60

Şekil 4.22 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi……60

Şekil 4.23 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi…….61

Şekil 4.24 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi……...62

Şekil 4.25 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi……62

Şekil 4.26 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi……...63

Şekil 4.27 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi……...……..64

Şekil 4.28 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi……..64

Şekil 4.29 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3$ değişimi……..……65

Şekil 4.30 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi……..66

Şekil 4.31 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi…….……..66

Şekil 4.32 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi……...……67

Şekil 4.33 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi……68

Şekil 4.34 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6 – 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi……68

Şekil 4.35 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6– 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi……69

Şekil 4.36 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6 – 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi……70

## RESİM LİSTESİ

**Sayfa No**

Resim 3.1 Arıtım çalışmalarında kullanılan yukarı akışlı ardışık anaerobik çamur çamur yatağı rektörleri (HÇYR).....31

| KISALTMALAR | AÇIKLAMA |
|---|---|
| HÇYR | Havasız çamur yatağı reaktörü |
| KOİ | Kimyasal oksijen ihtiyacı |
| PAS | Peyniraltı suyu |
| YAS | Yoğurtaltı suyu |
| TUA | Toplam uçucu asit |
| BOİ | Biyokimyasal oksijen ihtiyacı |
| UYA | Uçucu yağ asiti |
| AKM | Askıda katı madde |
| OYH | Organik yükleme değeri |
| SRT | Uçucu madde alıkonma süresi |
| UKM | Uçucu katı madde |
| HRT | Hidrolik alıkonma süresi |

| **SİMGELER** | **AÇIKLAMA** |
|---|---|
| $HCO_3^-$ | Bikarbonat |
| $SO_4^{-2}$ | Sülfat |
| $Na^+$ | Sodyum |
| $Ca^{+2}$ | Kalsiyum |
| $K^+$ | Potasyum |
| $Fe^{+3}$ | Demir |
| $Ni^{+2}$ | Nikel |
| $Zn^{+2}$ | Çinko |
| $Cl^{-1}$ | Klorür |
| $SO_3^{-2}$ | Sülfit |
| $NO_3^{-1}$ | Nitrat |
| $H_2^{+1}$ | Hidrojen |
| $Cu^{+1}$ | Bakır |
| $Cr^{+3}$ | Krom |
| $Mg^{+2}$ | Magnezyum |
| TKN | Toplam kjeldahl azot |
| $NH_3$-N | Amonyum azotu |
| $NH_4Cl$ | Amonyum klorür |
| $KH_2PO_4$ | Potasyum dihidrojen fosfat |

| | |
|---|---|
| $H_2O_2$ | Hidrojen peroksit |
| $NaHCO_3$ | Sodyum bikarbonat |
| NaOH | Sodyum hidroksit |
| $Na_2CO_3$ | Sodyum karbonat |
| $H_2SO_4$ | Sülfürik asit |
| $CH_4$ | Metan |
| $H_2O$ | Su |
| $N_2$ | Azot |
| $CO_2$ | Karbondioksit |
| C/N | Karbon / azot oranı |
| $H_2S$ | Sülfür |

# 1. GİRİŞ

Günümüzde; gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sanayileşme ve teknolojik gelişimlerin sonucunda, oluşan atık miktarlarında önemli derecede artış problemi görülmektedir. Bu problemin çözümündeki en etkili yöntemler; olabildiğince az atık üretmek, üretilen bu atıkları kaynağında ayrıştırmak ve bu atıkların içerisinden geri kazanımı mümkün olan atıkların tekrar değerlendirilmesini sağlamak, geri kazanılması mümkün olmayan atıkları ise uygun arıtma yöntemleri ile arıtmaktır.

Çevre sorunlarının çok büyük boyutlara ulaştığı günümüzde; çevre kirliliğinin en önemli sebeplerinden biri de sanayi kuruluşlarıdır. Sanayi bir yandan doğal kaynakları kullanarak ürün verirken bir yandan da çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Sanayileşme sürecine giren ve sanayileşmesini tamamlayan toplumlar, doğal kaynakların azaldığını, doğanın kendi kendini yenileme gücünün sınırlı olduğunu ve doğal dengelerin bozulmaya başladığını farkettikleri zaman, hem sanayileşmeyi sürdürmek hem de çevreyi koruyabilmek amacı ile köklü önlemler aramaya başlamışlardır. Bugün kabul gören en yaygın görüş; çevrenin de bir kaynak olduğu, zamanla kirlenerek tükenebileceği ve bu kaynak kullanımının da bir maliyetinin olabileceği yönündedir.

İnsan topluluklarının ürettikleri atıklar; enerji üretimi, diğer yan ürünlerin ve suyun geri kazanımı için faydalı bir hammadde olarak tanımlanabilir. Almanya, Avusturya ve A.B.D. başta olmak üzere dünyanın pek çok yerinde yenilenebilir enerji kaynaklarına dair araştırmalar yapılmaktadır. "Çevresel Koruma ve Kaynakların Korunumu" amacıyla geliştirilen çeşitli teknikler vardır. Atıksu arıtımında fiziksel, kimyasal, biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Biyolojik prosesler aerobik ve anaerobik arıtım olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir ki bu arıtım kategorileri arıtma tesislerinin temel ünitelerini oluşturmaktadırlar.

Anaerobik prosesin, aerobik prosese göre en önemli avantajı reaktörlerde yüksek çamur yaşı uygulanabilmesidir ki bu da arıtımın optimum gerçekleştirilmesi için gereklidir.

Havalandırma ihtiyacı olmaması, yüksek yükleme ve düşük atık çamur oluşumu, geleneksel aktif çamur prosesinin uygun olarak kullanıldığı ülkemizde anaerobik arıtımı, özellikle kuvvetli karakterdeki endüstriyel atıksuların arıtımında cazip kılmaktadır.

Anaerobik reaktör teknolojisindeki önemli gelişmeler ancak 1950' lerden sonra reaktörlerde mekanik karıştırma uygulaması ile başlamış, elde edilen yüksek reaksiyon hızı reaktörden biyokütle kaçışına neden olunca çökeltme tankı sisteme ilave edilmiştir. Sonrasında piston akımlı reaktörlerin geliştirilmesi ile oluşan modern yüksek hızlı anaerobik reaktörlerle anaerobik arıtım başarılı şekilde birçok atıksuya uygulanmıştır. 1980' li yıllardan itibaren özellikle Hollanda' da geliştirilen piston akım reaktörler bu prosesin daha etkin uygulanmasını sağlamıştır. Ülkemizde ise bu teknolojinin yeterince gelişememesi, uygulamasını sınırlı kılmış ve inşa edilen az sayıda anaerobik tesis Avrupa kökenli şirketlerce gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizde bu arıtım prosesinin yaygınlaştırılması için endüstriyel ve evsel atıksulara uygulama çalışmalarının yaygınlaşması gerekmektedir ve mevcut arıtım ihtiyacının karşılanmasında anaerobik arıtımdan faydalanılmasının ekonomik getirisi yüksek olacaktır.

Tüm bu konuların kapsamında çalışmanın amacı; gıda sektörüne ait beyaz peynir ve süzme yoğurt üretimi yapan süt endüstrisi atıksularının Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörleri (HÇYR) kullanılarak anaerobik arıtabilirliğinin incelenmesi ve elde edilen sonuçların bu konu ile ilgili çalışmalara katkıda bulunmasıdır .

## 1.1. Anaerobik Arıtma

Anaerobik arıtma; Anaerobik bakterilerin organik atıkları, serbest oksijensiz bir ortamda, metan, karbondioksit, hücresel ve diğer organik maddelere çevirdiği biyolojik bir işlemdir.

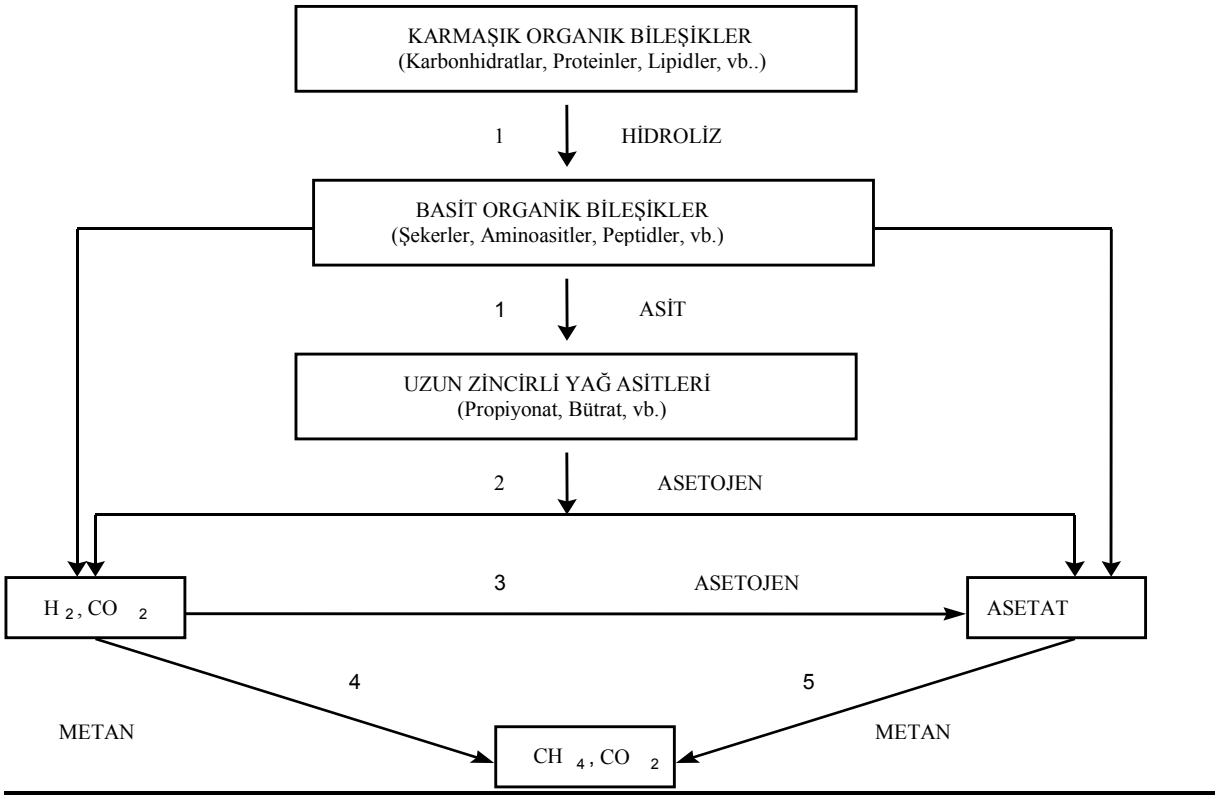
$$\text{Organik madde} + H_2O \xrightarrow[\text{Anaerobik Bakteriler}]{} CH_4 + CO_2 + NH_3 + H_2S + \text{Yeni hücre}$$

Organik maddelerin oksijensiz ortamda anaerobik bakteri tarafından tüketilmesi sonucunda, yüksek oranda metan gazı ve karbondioksitten oluşan biyogaz olarak tanımlanan gaz karışımı elde edilmektedir. (%20–30 $CO_2$ , %60–79 $CH_4$, %1–2 $H_2S$)

Anaerobik arıtımın esasını, dört ana grup bakteri oluşturmaktadır. Anaerobik arıtım; hidroliz, asit, asetojen ve metan bakterilerinin zincirleme reaksiyonlarından oluşan karmaşık bir sistemdir ve organik maddenin ¾’ ü asetik asit üzerinden ve ¼’ ü hidrojen üzerinden metan gazına çevrilmektedir.

Atıksu içerisindeki organik maddelerin havasız ortamda ayrışması dört temel aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşamada hidroliz bakterileri kompleks molekülleri hücre dışı enzimlerle parçalayarak basit moleküllere dönüştürürler. Bu moleküller asit bakterileri tarafından uçucu yağ asitlerine (UYA), alkollere ve $CO_2$’ e indirgenirler. Asetojen bakterileri uçucu yağ asitlerini oksitleyerek iki karbonlu en küçük UYA olan asetik asite çevirir. Metan oluşumu ise iki ana grup metanojenin asetik asiti ve $H_2/CO_2$’ i metan gazına çevirmesi ile gerçekleşir. Bu prosesler sonucu oluşan metan gazı enerji kaynağı olarak kullanılabilmektedir.

Organik madde içeriği yüksek atıksuların havasız arıtımından oluşan metan gazı, reaktörlerin yanı sıra sanayi tesisinin enerji ihtiyacını karşılamakta da kullanılmaktadır (Speece 1996).




Şekil 1.1 Anaerobik arıtma süreci

## 1.2. Anaerobik Arıtım Temelleri

Anaerobik arıtım, temelde 3 ana aşamada gerçekleşmektedir.

- Hidroliz Aşaması
- Asit Oluşumu Aşaması
- Metan Oluşum Aşaması

### 1.2.1. Hidroliz

Hidroliz işlemi süresince; Karmaşık yapılı organik maddeler, mikroorganizmaların hücre dışı enzimleri ile daha küçük ve daha basit yapılı çözünmüş organik bileşiklere dönüşmektedirler.

Hidroliz aşamasında; selüloz, lignin ve hemiselüloz gibi karbonhidratlar glikoz, pentoz ve heksoza; proteinler, polipeptid ve aminoasitlere; ve yağlar ise alkoller, asitler ve hidrojene dönüşmektedir. Arıtılan atıksuyun özelliklerine göre her anaerobik arıtım işleminde hidroliz aşaması olmayabilmektedir. Ancak bazı atıksular için (örneğin; atık biyokütle, kağıt endüstri atıksuları, bazı yiyecek ve ilaç endüstri atıkları) hidroliz, anaerobik arıtmanın önemli bir parçasıdır. Kimi koşullarda, hidroliz tüm anaerobik arıtma işleminin hızını belirleyebilir. Yağların hidrolizi çok yavaş gerçekleştiğinden, hidroliz aşaması anaerobik işlemlerde biyolojik parçalanma hızını belirleyen aşamasıdır (Gökçay ve ark. 2002).

### 1.2.2. Asit oluşumu

Çözünmüş organik maddelerin valerik asit, bütrik asit, propiyonik asit ve asetik asit gibi organik asitlere, ve metonola dönüştürüldüğü aşamadır ve asit üreticiler olarak adlandırılan mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada çözünmüş karbonhidratlar etanol, $H_2$ ve $CO_2$' e amino asitler, süksinik asit ve $H_2$' e yağ asitleri ise asetat ve $H_2$' e dönüşmektedir. Asit oluşumu aşaması geniş bir sıcaklık ve pH aralığında gerçekleşebilmektedir (Gökçay ve ark. 2002).

### 1.2.3. Metan oluşumu

Metan oluşum aşamasında ise, asit aşamasında oluşan organik asitler, $H_2$ ve asetat, metan oluşturan mikroorganizmalar tarafından kullanılmakta ve metan ($CH_4$), karbondioksit ($CO_2$) ve hidrojen sülfür ($H_2S$) gazlarının karışımından oluşan ve "Biyogaz" olarak adlandırılan gaz karışımına dönüştürülmektedir. Birçok organik atık için, metan ve karbondioksit asetik asidin anaerobik olarak parçalanmasından oluşmaktadır.

Bu aşamada oluşan metanın %70'i asetatın dekarboksilasyonu, geriye kalanı ise hidrojen kullanan metan bakterileri tarafından $CO_2$' in indirgenme reaksiyonları ile oluştuğu belirtilmektedir (Gökçay ve ark. 2002).

Anaerobik arıtma süreçlerinde metan oluşum reaksiyonlarını aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür.

$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$

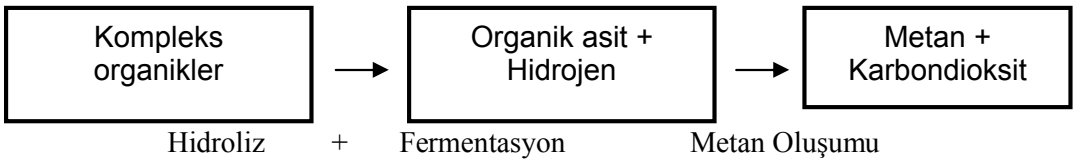
$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$

$4HCOOH \longrightarrow CH_4 + 2H_2O + 3CO_2$

$4CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$

$4(CH_3)_3N + H_2O \longrightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 6H_2O + 4NH_3$

Anaerobik arıtma işleminde kompleks organikleri metana dönüştürme işlemi iki basit adım altında toplanabilmektedir.; (1) Kompleks organik maddenin basit organik asitlere ve hidrojene hidrolizi ve fermentasyonu (2) organik asitlerin ve hidrojenin metana çevrilmesi (Bitton 1994).




Şekil 1.2 Anaerobik atıksu işleminde kompleks organiklerin metana dönüştürülmesinin basitleştirilmiş iki adımlı proses

### 1.3. Anaerobik Arıtımı Etkileyen Çevresel Faktörler

Genel olarak anaerobik reaktörler dış etkenlerdeki değişikliklerden etkilenmektedirler. Ancak etkinin önem derecesi; tipine, büyüklüğüne, süresine ve maruz kalınan değişikliklerin sıklığına bağlıdır. Bu etkilere reaktörün verdiği tipik tepkiler; performans düşüklüğü, uçucu yağ asitlerinin birikmesi, pH ve alkalinite düşüşü, biyogaz miktarında ve içeriğindeki değişim, çamur (biyokütle) kaybıdır. Anaerobik mikroorganizmaları etkileyen başlıca çevresel koşullar ana hatlarıyla aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

#### 1.3.1. Hidrolik ve organik yükleme değişimlerin etkisi

Anaerobik arıtmada ilk prosesler (Hidroliz ve Asidojenesis) ve asit ürünlerinin asetojenik ve metanojenik bakteriler tarafından metan ve karbondioksite dönüşümü prosesi arasında çok hassas bir denge vardır.

Hidrolik ve organik yüklemedeki değişimlerin etkisi uygulanan hidrolik bekletme süresine, çamur bekletme süresine, değişimlerin yoğunluğuna ve süresine, çamur özelliklerine ve reaktörün tasarımına (özellikle de üç faz ayırıcısı olan) bağlıdır. Fazla yüklemenin yanı sıra hidrolik ve organik yüklemedeki ani değişimler esnasında Uçucu Yağ Asitlerinin (UYA) birikmesi reaktörlerde görülen tipik bir sonuçtur.

Anaerobik reaksiyonlarında oluşan çeşitli ara ürünlerinin oranlarını kontrol edilmesinde hidrojenin kısmi basıncı önemli bir rol oynar. Basıncın yüksek olduğu koşullarda metabolik reaksiyonlar Uçucu Yağ Asit üreticileri (asidojen ve asetojen nüfusu) ve tüketicileri (metanojenler, sülfat indirgeyici bakteriler, SRB, azot indirgeyici bakteriler, NRB) arasında daha az istenen yöne doğru değişebilir. Bu şekilde hiç istenmeyen bir durumun olması biyogaz içindeki karbondioksit ve hidrojen gazının miktarlarında da önemli bir artışa neden olur.

Reaktör içindeki hidrojen gazı kısmi basıncının $10^{-4}$ atm. lik değeri aşması halinde metabolik reaksiyonda istenmeyen yönde bir değişime neden olabilir. Yavaş gelişim gösteren metanojenler hidrojen üreten bakterilerin ürettiği hidrojen konsantrasyonunu hızlı ve yeterli bir şekilde düşüremezlerse (örn. reaktör içindeki çamurun hidrojen tüketen organizmalar açısından yetersiz olduğu durumlarda), bu durum propiyonat, bütarat ve laktat indirgenmesini engeller. Hidrojen kısmi basıncını arttığı durumlarda görülen diğer bir etki de biyogazın üretim hızındaki ve komposizyonundaki değişimdir.

Hidrolik ve organik şok yüklemelerin diğer bir ilginç etkisi de artan yüklemelerde asitleyiciler, asetojenler ve metanojenler gibi çeşitli türleri olan reaktör içindeki ipliksi yapıdaki mikroorganizmaların sayısında ve uzunluklarında görülen düşüştür. Bu tür organizmaların sayısında görülen düşüş şok yüklemeler sırasında bu tip bakterilerin parçalandığı ve reaktörden dışarı kaçtığı gözlenmiştir (Gökçay ve ark. 2001).

### 1.3.2. pH' ın etkisi

Metan üreten bakteriler pH' ya oldukça duyarlıdır ve bu nedenle verimli bir arıtma için sistem pH'sının 6.4-8.2 olması önerilmektedir. Sistemde optimum şartların olmaması halinde, asidojenik bakteriler metan bakterilerini tüketebileceğinden daha çok uçucu asit üretebilmektedir. Bu durumda, sistemde pH anaerobik arıtım için elverişsiz seviyelere düşmektedir. Belirli bir düşük pH değerinde ise üretim tamamen durmaktadır.

Anaerobik arıtmada tamponlanma kapasitesi genellikle alkalinite olarak ölçülmekte ve bikarbonat alkalinitesi kullanılmaktadır. Sistemde yeterli alkalinitenin korunması, pH düşmelerine karşı sürecin korunması açısından önemlidir. Genelde, pH değerinin 6.0' nın altına düşmesi durumunun, 24 saati geçtiği durumlarda reaktör çökmektedir. pH' daki düşüş devam ederse sistemin tekrar kararlı hale gelebilmesi bazı durumlarda imkansızdır. Yüksek pH değerleri de anaerobik arıtımı inhibe edici özellik göstermektedir. pH' ın 9.0 gibi yüksek bir değere ulaşması metan oluşumunu azaltmakta ve tekrar optimum değerlere çekilmesiyle de sistem geri kazanılabilmektedir (Öztürk 2007).

### 1.3.3. Sıcaklığın etkisi

Sıcaklık: biyolojik sistemlerde, mikroorganizmaların büyüme hızına, mikroorganizma üretim hızına ve substrat tüketim hızına etkili olduğundan anaerobik sistemlerde en önemli parametrelerden biridir (Van den Berg 1997).

Anaerobik arıtma normal hava sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Sıcaklık artışının avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Organik madde parçalanma hızı ve derecesinin artması,
- Çamurun su verme özelliklerinin iyileşmesi,
- Patojen bakteri gideriminde artış olması,

Yüksek parçalanma hızı, ilave edilen organik maddenin birim miktarı için daha fazla metan oluşumu demektir. Anaerobik arıtımda genellikle mezofilik (30–35 $^{O}$C) ve termofilik (50–60$^{O}$C) olmak üzere iki sıcaklık seviyesinden birisinde çalışılmaktadır. Uzun süre sıcaklık düşmesi, organik madde parçalanmasını azaltarak üretilen metan miktarını azaltmaktadır. Dolayısıyla, verimli bir işletim için sıcaklığın sistem içerisinde istenilen değerde tutulması oldukça önemlidir (Van Lier ve ark. 1996).

Anaerobik sistemlerde çalışılırken, maksimum biyogaz ve metan üretim verimi için sistemdeki mikroorganizmaların yaşaması için gerekli optimum sıcaklığın ayarlanması gerekmektedir (Lin ve ark. 1987).

Anaerobik işlemlerde sistem sıcaklığı, kullanılacak hammadde ile yapılan deneylerden elde edilecek optimum koşullar göz önünde bulundurularak belirlenmeli, sistem bu koşullara göre oluşturulmalı ve sistemin söz konusu sıcaklığı ısı yalıtımı veya ısıtma ile korunmalıdır (Gökçay ve ark. 2001).

### 1.3.4. Zehirliliğin etkisi

Atıksularda organik ve inorganik zararlı maddelerin belirli derişimlerin üzerinde bulunması mikroorganizmaların etkinliklerinin yavaşlamasına veya durmasına neden olmaktadır. Anaerobik bakteriler birçok zehirli maddeye alışıp dayanabilmekte hatta parçalayabilmektedir. Anaerobik sistemelerde arıtımı mümkün olmayan bazı bileşiklerin belirli bir alıştırma devresinden sonra anaerobik süreçlerde giderilmesi mümkün olabilmektedir (Aydemir 2003).

Tüm anaerobik mikroorganizmalar arasında metanojenler zehirliliğe karşı en duyarlı gruptur. Ancak metanojenlerin birçok toksik maddeye belli düzeylere kadar dayanabildiği ve bu maddelere alışabildiği bilinmektedir. Ayrıca birçok zehirli maddenin, belirli derişimlerin altında, anaerobik olarak arıtabilir olması, zehirli etkileri de azaltmaktadır. Düşük derişimlerde anaerobik sistemlere olumlu etkileri olan birçok katyon (sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, amonyum) yüksek derişimlerde zehirli etkiye sahiptir (Duran ve ark.1997). Tablo 1.1’ de bazı maddelerin anaerobik işlemi durdurucu derişimleri verilmektedir.

Tablo 1.1 Bazı maddelerin anaerobik işlemi durdurucu derişimleri (Filibeli 2000).

| Madde | Toksisite Derişimleri (mg/L) |
|---|---|
| $NH_4^+$, $NH_3$ | 1500 – 2000 |
| $H_2S$, $HS^-$, $S^{2-}$ | 100 – 150 |
| $Na^+$ | 3500 – 6000 |
| $K^+$ | 2500 – 5000 |
| $Ca^+$ | 2500 – 5000 |
| $CN^-$ | 0.5 – 1 |
| Alkil Benzen Sülfonat | 500 – 700 |
| $Mg^{+2}$ | 1000 – 1500 |
| $Cr^{+3}$ | 150 – 400 |
| $Cr^{+6}$ | 3 |
| $Zn^{+2}$ | 1 |
| $Ni^{+2}$ | 2 |
| $Cu^{+2}$ | 0.5 |
| $S^{-2}$ | 200 |

### 1.3.5. Özel bileşiklerin etkisi

*Oksijen;* Anaerobik arıtımda sistemin kararlılığının sağlanması için ortamda kesinlikle serbest oksijenin bulunmaması gerekmektedir. Bu nedenle oksijen $NO_3$, $H_2O_2$, $SO_4^{-2}$ vb. gibi maddelerde olduğu gibi bağlı olsa bile anaerobik arıtım sistemlerinin verimlerine olumsuz etki yapmaktadır (Aydemir 2003).

*Kükürt;* Birçok sanayi atıksuları yüksek derişimlerde $SO_4^{+2}$ ve $SO_3^{-2}$ içermektedir. Anaerobik koşullarda sülfat, sülfat gideren bakteriler tarafından biyokimyasal tepkimeler sonucunda $H_2S$' e dönüşmektedirler. Metan bakterileri ile sülfat bakterileri aynı enerji kaynaklarını (asetik asait ve hidrojen) kullanmaktadırlar. Sülfat gideren bakteriler enerjetik olarak daha avantajlı olduklarından, elektron

akışını sülfat giderimine çevirerek metan üretiminin düşmesine neden olmaktadırlar. Sülfat indirgenmesinin en önemli etkilerinden birisi de oluşan $H_2S$' in yüksek derişimlerde anaerobik arıtımı inhibe etmesidir (Aydemir 2003).

*Amonyak;* Protein ve amino asit gibi maddelerin anaerobik ayrışması sonucu $NH_4^+$ da açığa çıkmaktadır. Azotça zengin sanayi atıksularında problem oluşturmaktadır. Anaerobik reaksiyonlar sonucu organik maddenin yapısındaki organik azot, amonyağa dönüşmektedir. Amonyak, sistemde ortamın pH' na bağlı olarak $NH_4^+$ iyonu şeklinde, iyonlaşmış yapıda bulunmaktadır. Bu denge yüksek pH' da $NH_3$ lehinde değişmektedir. İyonlaşmamış $NH_3$ anaerobik mikroorganizmalar için zehirli etkiye sahiptir. Kritik derişim 100-200 mg/L' dir (Aydemir 2003).

*Uçucu Asitler;* Asit üretimi basamağında oluşan uçucu organik asitlerin derişimlerinin yükselmesi sistemde inhibisyona neden olmaktadır. Toplam uçucu asit derişimi (TUA) değeri 1000-1500 mg/L' aşmaması gerekmektedir. Güvenli bir işletme için sistemin yükselmesi TUA/Alkalinite oranı 0.1' i geçmemelidir. İyi işleyen bir sistemde uçucu yağ asitlerinin derişimi 500 mg/L' yi aşmamalı ve normalde 250 mg/L' den daha az olmamalıdır. Probiyonik asit derişiminin artması asetik asit üreten bakterilerin etkilendiğinin işaretidir (Uğurlu 1995).

*C/N Oranı;* Biyogaz üretiminde kullanılacak hammaddedeki C/N oranı en önemli faktörlerden biridir. Organik maddede karbon; karbonhidrat şeklinde, azot da; protein, nitrat veya amonyak şeklindedir. Anaerobik bakteriler karbonu enerji kaynağı olarak, azotu ise yeni hücrelerin oluşumunda yapı malzemesi olarak kullanmaktadırlar. C/N oranı 30/1 olması istenilmektedir. Karbon azota oranla 25-20 kat daha fazla kullanılmaktadır. Madde bu orana sahip değilse diğer organik maddelerle karıştırılarak istenen C/N oranı sağlanmaktadır. Organik madde azot bakımından zengin ise (C/N oranı 10/1 veya daha az) arıtım sırasında $NH_3$ oluşmaktadır. Bundan dolayı da özellikle yüksek pH' larda toksik etkiye yol açmaktadır. Azotun çok az olması halinde ise (C/N oranı 50/1 veya daha yüksek) azot eksikliği ve yetersiz tampon kapasitesi oluşmaktadır (Tüzüm 2003).

### 1.3.6. Alıkonma süresinin etkisi

Maddenin alıkonma süresi, anaerobik sistemlerde uçucu organik maddelerin reaktörde kaldığı süredir. Uçucu madde alıkonma süresi ve hidrolik alıkonma süresi olmak üzere iki türlü kullanımı bulunmaktadır. Uçucu madde alıkonma süresi (SRT) sistemdeki mikroorganizmaların uçucu maddeyi dönüştürmek için kullandıkları süredir ve sistemdeki uçucu madde kütlesinin, sistemden çıkan uçucu maddenin kütlesel hızına oranıdır. SRT, anaerobik sistemlerde 2-6 gün arasında değişmektedir. Hidrolik alıkonma süresi (HRT) ise reaktör hacminin sisteme verilen maddenin hacimsel hızına oranıdır. Anaerobik sistemlerde geri dönüşüm olmadığında ve genellikle organik maddeler sulu çözeltiler ya da sulu karışımlar halinde beslendiğinden SRT, HRT' ye eşittir. Hem SRT hem de HRT organik maddelerin yeteri kadar parçalanmasına ve optimum gaz üretim veriminin sağlanmasına, bu da sıcaklığa bağlıdır. HRT, anaerobik sistemlerde sıcaklığa da bağlı olarak 10-31 gün arasında değişmektedir (Lapp ve ark.1975).

## 1.4. Anaerobik Biyoteknolojinin Üstünlükleri

### 1.4.1. İşletim kararlılığı

Anaerobik sistemler yeterli miktarda biyokütleyi tutabilecek biçimde ve doğru bir güvenlik katsayısı ile tasarlanıp, işletildiği koşullarda yüksek bir işletim kararlılığına (değişken çevresel koşullar altında istenilen kirletici gideriminin sağlanabilme kapasitesi) sahiptir. Bu kararlılık biyokütlenin granül ya da biyofilm biçiminde olduğu reaktörlerde daha da artmaktadır (Uğurlu 1995).

### 1.4.2. Atık biyokütle miktarları ve reaktör hacimlerinde azalma

Anaerobik biyoteknoloji, aerobik sistemler için gerekli olan oksijen gereksinimini ortadan kaldırdığı gibi düşük mikrobiyal sentezleme özelliği ile de oluşan atık biyokütle miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Sonuçta atık biyokütle arıtım maliyeti aerobik sistemlere göre %10 düzeyindedir. Anaerobik sistemlerin azot ve fosfor gereksinimi de aerobik sistemlere göre düşüktür (Uğurlu 1995).

Ayrıca, anaerobik sistemlerde çok yüksek organik madde yükleme hızlarına ulaşmak mümkün olmaktadır. Aerobik sistemlerde 0.5 – 3.2 kg/$m^3$gün olan organik madde yükleme hızı, anaerobik sistemler için 3.2 – 32 kg/$m^3$gün' dür. Bu büyük fark, anaerobik reaktör hacimlerinin aerobik reaktörlere göre çok daha küçük olmasını, dolayısıyla ilk yatırım maliyetlerinde önemli bir azalma sağlamaktadır (Uğurlu 1995).

### 1.4.3. Enerji tasarrufu ve üretimi

Aerobik olarak 1 kg kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) dengi organik maddenin arıtılması için gereken 1.5–6 kwssat' lik oksijen sağlama gideri, anaerobik sistemlerde ortadan kalkmaktadır. Ayrıca, 1 kg KOİ dengi organik maddenin anaerobik arıtımı sonucu yaklaşık 3.6 kwsaat eşdeğeri metan gazı ortaya çıkmaktadır. Bu gaz, elektirik üretimi, ısıtma vb. amaçlar için kullanılabilmektedir (Uğurlu 1995).

### 1.4.4. Atıkgaz sorunu

Uçucu özelliklere sahip birçok organik kirletici (örneğin akrilik asit ve klorlu çözücüler), aerobik arıtım sırasında biyolojik olarak parçalanmadan atık gaza dönüşerek atmosfere karışabilmektedir. Aerobik arıtımın önemli sakıncalarından olan bu sorun, atmosfere kapalı olarak gerçekleştirilen anaerobik artımada ortadan kalkmaktadır (Uğurlu 1995).

### 1.4.5. Köpüklenme sorunu

Aerobik sistemlerde, özellikle çözücü maddeler içeren atıksularda görülen, havalandırma kaynaklı yüksek türbülans ve kabarcıkların yol açtığı köpüklenme sorunu, anaerobik sistemlerde büyük ölçüde azalmaktadır. 2000 mg/L biyokimyasal oksijen ihtiyacına (BOİ) sahip bir atıksuyun aerobik olarak arıtımı için sisteme atıksu hacminin 70 katı gaz (hava) vermek gerekirken, aynı atıksuyun anaerobik olarak arıtımı sonucu atıksu hacminin 1.6 katı gaz ($CH_4$ + $CO_2$) oluşmaktadır (Uğurlu 1995).

### 1.4.6. Aerobik olarak arıtılmayan kirleticilerin arıtımı

Aerobik olarak arıtılamayan bazı kirleticiler (klorlu organikler) ve atıksular (kağıt, ilaç, alkol ve bira üretimi atıksuları) anaerobik olarak arıtılabilmektedir.

### 1.4.7. Mevsimsel arıtım

Anaerobik sistemler, şarap ve şeker üretimi gibi yılda sadece 2-4 ay atıksu üreten işletmeler için çok uygundur. Anaerobik mikroorganizmalar, beslenmedikleri durumda bile canlılıklarını aylarca koruyabilmektedir (Öztürk 2007).

## 1.5. Anaerobik Reaktör Tipleri

Anaerobik arıtımda kullanılan reaktör tipleri:

- Tam Karışımlı Anaerobik Reaktör
- Anaerobik Kontak Proses Reaktörü
- Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörü
- Genleşmiş Çamur Yatağı Reaktörü
- Akışkan Yataklı Anaerobik Reaktör
- Anaerobik Filtreler

### 1.5.1. Tam karışımlı anaerobik reaktör

Isıtma ve karıştırmanın eşliğinde optimum koşullar sağlanmaktadır. Mezofilik ve termofilik aralıklarda çalıştırılabilinmektedir. Yükseklikleri az, taban alanları fazla olabilmekte veya tam tersi tasarımlar kullanılabilinmektedir. Sabit kubbeli ve hareketli kubbeli tasarımlar vardır. Gaz karıştırmalı, mekanik karıştırmalı ve farklı ısı değiştirici sistemli reaktörler bulunmaktadır. Karıştırmalı reaktörlerin en önemli üstünlükleri çok farklı koşullara uyarlanabilmeleri, hızlı gaz dönüşümünü sağlamaları ve sistem içindeki eş dağılımı korumaları olarak sıralanabilmektedir. Fakat kuruluş ve enerji maliyetleri açısından sakıncaları vardır, bakteri kayıpları nedeniyle ek besleme gerekebilmektedir (Uğurlu 1995).

### 1.5.2. Anaerobik kontak proses reaktörü

Sistem genellikle sulandırılmış ev atıklarının, 1300 mg/L KOİ, işlenmesi içindir. Bakteriyel biyokütle, biyoreaktörde alıkoyularak korunduğu için gaz verimi artmaktadır. Termofilik ve mezofilik aralıklarda kullanılabilinmektedir. Seyrelmiş veya yoğun atıklarla, özellikle 1000-2000 mg/L KOİ aralığındaki orta kuvvetli atıklarla, çalışmaya uygundurlar. Bu süreçler mikroorganizmaların askıda olduğu ve aktif çamur sistemindeki gibi biyokütlenin bir çökeltme tankı ile uzaklaştırıldığı bir sistemdir (Duran ve ark. 1997).

### 1.5.3. Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörü

Yukar akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörler ile yapılan çalışmalarda evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımı çin olumlu sonuçlar gözlenmiştir.

Mikroorganizmaların özel bir enzim yardımıyla birbirlerine yapışmaları sonucu oluşan granüller reaktör içerisinde çamur yatağı adı verilen yoğun bir mikroorganizma kümesi oluşturmaktadır. Biyokütlenin sistemden kaçmasını önlemek için atıksuyun yukarı akış hızı, granül haldeki mikroorganizma gruplarının çökme hızından büyük olmalıdır.

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerde sulu çözelti reaktöre alttan verilmektedir. Sulu çözelti reaktör içerisinde yukarıya hareket ederken, sulu çözeltideki organik maddeler mikroorganizmalar tarafından parçalanmaktadır. Reaktörde oluşan biyogaz ise gaz-sıvı ayırıcılarla ayrılarak, gaz ve arıtılmış atıksu sistemden alınmaktadır (Yu ve ark. 2001).

### 1.5.4. Genleşmiş çamur yatağı reaktörü

Genleşmiş Çamur yatağı reaktörü ilk olarak biyolojik denitrifikasyon ile atıksudan nitratı çıkarmak için geliştirilen kendine özgü bir sistemdir. Ancak bu, aynı zamanda atıksuların metanojenik işlenmesine de oldukça iyi uyum sağlamaktadır (Uğurlu 1995).

### 1.5.5. Akışkan yataklı anaerobik reaktör

Akışkan Yataklı Anaerobik Reaktörler yukarı akışlı olarak çalıştırılmakta, çıkış suyu yüksek bir hızla geri devredilmekte ve sistemde mikroorganizmaların üzerinde büyüyebileceği inert madde (genellikle kum) bulunmaktadır. Sistemdeki giriş suyu hızı dolgu malzemesi ve mikroorganizmaları askıda tutabilecek şekilde ayarlanmaktadır. Bu reaktörler farklı özelliklerde atıksuların arıtımında verimli bir biçimde kullanılmaktadır. Son yıllarda reaktör dolgu maddesi olarak daha hafif iyon değiştirici reçineler, kaolin ve sepiolit gibi fırınlanmış kil ve delikli (gözenekli) poliüretan gibi malzemelerde kullanılmaktadır (Uğurlu 1995).

### 1.5.6. Anaerobik Filtreler

Anaerobik Filtreler, biyokatıların tutulması için iyi bir yöntemdir ve oldukça geniş bir uygulaması vardır. Yukarı akışlı anaerobik filtreler taş, dayanıklı ahşap, plastik ya da benzeri malzemeden yapılan dolgu malzemesi içermektedir. Atıksu içerisindeki organik maddeler filtre malzemesi üzerinde sabit bir film biçiminde büyüyen veya malzeme arasındaki boşlukta askıda halde bulunan anaerobik mikroorganizmalar tarafından dönüştürülmektedir. Bu sisteme ait başlıca olumsuzluk biyokatıların, atık katıların ve çöken minerallerin tıkanmalara neden oluşudur. Tıkanan bölümleri açmak için sisteme basınçlı gaz vermek üzere bir birim yerleştirilmektedir (Uğurlu 1995).

## 1.6. Süt Endüstrisi Atıksuları ve Özellikleri

Endüstriyel kaynaklı atıksular kapsamına giren süt endüstrisi atıksuları; diğer atıksular gibi yüksek konsatrasyonda organik madde, yağ-gres ve katı madde içeren atıksulardır. Bu atıksuların yüksek miktarda organik madde içermesinin sebebi; sütün içeriğinde bulunan karbonhidrat, protein ve yağlardır. Bu atıksular; üretim sırasında kullanılan proseslerin temizlenmesinden, yanlış kullanılmasından ve işletme hatalarından kaynaklanan sebeplerden oluşmaktadır.

Süt endüstrisi atıksuları; organik yükleme açısından kentsel atıksu arıtma sistemlerinde ciddi problemler oluşturmaktadır. Dolayısıyla; süt endüstrisi atıksu deşarj standartlarının sağlanması için bu atıksuların arıtımı önemlidir.

Süt endüstrisi atıksuları üretime bağlı olarak çoğunlukla kesik kesik üretilmektedir, bu yüzden çıkış sularının debileri önemli derecede değişmektedir. Mevsimsel değişikliklere bağlı olarak atıksu miktarları yaz aylarında yüksek, kış aylarında düşüktür. Süt endüstrilerinde çeşitli ürünler üretilmektedir. Bunlar; süt, yağ, yoğurt, dondurma, tatlının çeşitli türleri, peynir gibi ürünlerdir. Yapılan inceleme ve araştırmalar sonucunda süt ve süt ürünleri işletmelerinde 1 ton sütten 0.1 ton kaşar peyniri ve 0.9 $m^3$ atıksu, ayrıca 1 ton sütten 0.23 ton beyaz peynir ve 0.77 $m^3$ atıksu oluştuğu gözlenmiştir (Yeğin 1995).

Üretim sisteminin tiplerine ve işletmenin metotlarına bağlı olarak çıkış sularının özellikleri değişmektedir. Süt endüstrisi atıksuları yüksek organik madde içerdiklerinden dolayı, anaerobik çürütme sistemi gerekli olan bir arıtma sistemidir. (İnce 1998).

Süt endüstrisi atıksuları birçok yerde arıtılmadan, kimi zaman uygun olmayan bir alıcı ortama, kimi zaman da şehir kanalizasyon şebekesine verilmektedir. Bu atıksuların yüksek kirlilik değerleri, alıcı ortam deşarj standartlarına uygun hale getirilmeden, üretildikleri yerden uzaklaştırılmaya çalışılması yasal olmayıp, sürdürülebilir çevre bilincine de aykırıdır.

Süt endüstrisi atıksuları, sahip oldukları yüksek enerji eşdeğerleri nedeniyle anaerobik arıtım ile, insanlık yararına kullanılabilecek önemli bir enerji potansiyeli olarak değerlendirilebilmektedir.

### 1.6.1. Peyniraltı Suyunun (PAS) ve Yoğurtaltı Suyunun (YAS) Özellikleri

Günümüzde her yıl tonlarca peyniraltı suyu ve yoğurtaltı suyu üretilmektedir. Yüksek organik yüke sahip olan bu atıksular, kanallara, nehirlere, ön arıtımları yapılmadan atıksu arıtma tesislerine, diğer su havzalarına ve toprağa verilmektedir. Laktozdan kaynaklanan yüksek BOİ ve KOİ konsantrasyonlarından dolayı bu atıksular deşarj edildiği atıksu arıtma tesislerine zarar vermektedir. 3870 L/gün peyniraltısuyu, belediye kanalizasyonuna deşarj edildiğinde 1800 kişinin neden olduğu kirlilik ile eşdeğer kirlilik sağlamaktadır. Sürekli araziye deşarj edilen bu atıksular; içeriğindeki azotun çözünmesinden dolayı toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını bozmakta, ürün verimliliğini düşürmekte, önemli su kirliliği sorunlarına sebep olmakta ve insan sağlığını tehlikeye atmaktadır .Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'nca yapılan Gıda Sanayi Envanteri çalışmasında; üretim kapasitesi yılda 1000 tonun üzerinde çalışan 1300 adet süt ürünleri işletmelerinin olduğu belirtilmiştir (Yeğin 1995). Tablo 1.2 ' de süt ve süt ürünleri işletmelerinin coğrafik dağılımı verilmektedir.

Tablo 1.2 Süt ve süt ürünleri işletmelerinin coğrafik dağılımı

| Bölgeler | Toplam İşletme Sayısı (adet) | Toplama Kapasite (adet) |
|---|---|---|
| I. Bölge (Orta Kuzey) | 106 | 583.878 |
| II. Bölge (Ege) | 505 | 2050.651 |
| III. Bölge (Marmara) | 344 | 1750.115 |
| IV. Bölge (Akdeniz) | 82 | 371.273 |
| V. Bölge (Kuzeydoğu) | 34 | 242.583 |
| VI. Bölge (Güneydoğu) | 19 | 109.938 |
| VII.Bölge (Karadeniz) | 68 | 395.420 |
| VIII. Bölge (Orta Doğu) | 17 | 109.274 |
| IX. Bölge (Orta Güney) | 125 | 550.643 |
| Toplam | 1300 | 6153.175 |

Tablo 1.2' ye göre süt işletmelerinin coğrafik dağılımına bakıldığında,Ege Bölgesi (%38.8) birinci sırayı, Marmara Bölgesi (%26.5) ikinci sırayı almakta ve VIII. Bölge yani Orta-Doğu Anadolu Bölgesi 17 tesis ile en az tesise sahip bölge olmaktadır (Öztürk 2007).

Süt endüstrisinden kaynaklanan peyniraltı suyu (PAS) peynirin mayalanmasından sonra arta kalan sudan oluşmakta, ve yeşilimsi, sarı renkli sıvı olarak tanımlanmaktadır. Rengini içerdiği laktoflavinden almaktadır. Bileşimi, peynir yapımında uygulanan yönteme ve özellikle de sütün pıhtılaştırılmasında kullanılan maddenin asit veya maya enzimi oluşuna göre değişmektedir. Genellikle ekşi peynir suyu ve tatlı peynir suyu olmak üzere iki çeşit peyniraltı suyu vardır.

Sütün laktik asit bakteri kültürleri yardımıyla asitleştirilmesi veya süte organik madde katılması yöntemiyle peynir yapımında ortaya çıkan peyniraltı suyu; ekşi peynir suyu veya asit peynir suyu olarak adlandırılmaktadır. Buna karşın, peynir üretiminde pıhtılaştırıcı olarak peynir mayası enzimi (rennet) kullanılması durumunda ortaya çıkan peyniraltı suyu ise, tatlı peynir suyu veya maya peynir suyu olarak tanımlanmaktadır. Bunların gerek bileşimleri gerekse özellikleri birbirinden oldukça farklıdır. Aralarındaki en önemli fark, içerdikleri laktoz ve laktik asit miktarlarından kaynaklanmaktadır. Peynir yapımında, pıhtı oluşumunu sağlamak için kullanılan maya ve asitten dolayı peyniraltı suyunun pH değeri 4.4 – 4.6 arasında değişebilmektedir. 1 litre peynir suyunun doğrudan atıksulara karışmasıyla oluşan kirlilik miktarı, yaklaşık bir kişinin bir günde ürettiği kirliliğe eşdeğerdedir. Örneğin, peynir üretmek amacıyla günde 10 ton süt işleyen ve arta kalan yaklaşık 8 ton peyniraltı suyunu değerlendirmeden döken bir işletme, 8000 nüfuslu bir kentin yol açtığı düzeyde çevre kirlenmesine neden olmaktadır (Şengül 1991).

Yoğurtaltı suyu mayalanmış yoğurdun süzülmesi ile oluşmakta ve koyu sarı renkli sıvı olarak tanımlanmaktadır. Peyniraltı suyuna göre daha yüksek miktarda $Ca^{2+}$, $K^{+}$, organik asit, daha düşük miktarda $Na^{+}$ ve $Cl^{-}$ içermektedir. Her iki atıksu da organik asit, yağ ve iyon bakımından zengindir.

Tablo 1.3' de peyniraltı suyu karakterizasyon değerleri verilmektedir (Ghally ve ark. 1996).

Tablo 1.3 Peyniraltı suyunun atık özellikleri

| Ölçülen Özellikler | Ölçülen Değer |
|---|---|
| Toplam katılar (mg/L) | 65930 |
| Uçucu katılar (mg/L) | 47280 |
| Uçucu katılar (%) | 71.7 |
| Sabit katılar (mg/L) | 18650 |
| Sabit katılar (%) | 28.3 |
| Toplam KOİ (mg/L) | 72220 |
| Çözünebilen KOİ (mg/L) | 69.940 |
| Çözünebilen KOİ (%) | 5296.4 |
| Toplam Kjeldahl azotu (mg/L) | 11450 |
| Amonyak azotu (mg/L) | 260 |
| Amonyak azotu (%) | 17.9 |
| pH | 4.5 |

### 1.6.2. Peyniraltı Suyunun(PAS) ve Yoğurtaltı Suyunun(YAS) Değerlendirilmesi

Peyniraltı suyu ve yoğurtaltı suyu içeriğinde bulunan değerli maddeler sebebiyle; sıvı olarak fabrika yemlerine katılarak bazı hayvanların beslenmesinde, koyulaştırılarak veya toz haline dönüştürülerek ekmek, bisküvi ve dondurmaların hazırlanmasında-eritme peyniri yapımında, $95^0$C' ye kadar ısıtılarak lor ve benzeri ürünlerin yapımında, $B_{12}$ vitaminin elde edilmesinde kullanılmaktadır (Uraz 1981).

Herhangi bir işlem uygulanmamış peyniraltı suyundan anaerobik fermentasyon yolu ile biyogaz üretimi yapılmaktadır. Örneğin 1 litre peyniraltı suyundan yaklaşık %50 metan içeren 37 litre biyogaz üretilmekte ve litre başına 960 kj enerji elde edilebilmektedir (Öztürk 2007).

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tarihte ilk olarak anaerobik uygulamalar, aerobik reaktör uygulamalarından etkilenmiş, fakat başarısız olmuştur. Bu uygulamalarda, aerobik arıtım prosesinin en zayıf bölümleri örnek alınmış, yavaş büyüyen anaerobik kütle, zayıf çökelme özelliği ile çöktürme havuzunda tutulamamış ve çıkış suyuyla sistemden atılmıştır.

Anaerobik sistemlerde; düşük sentez hızı ve proses hassasiyeti biyokütlenin sistemde tutumunu (immobilizasyonunu) çok önemli kılmaktadır. Özellikle seyreltik karakterli atıksuların tam karışımlı anaerobik reaktörlerle arıtımı mümkün olmamaktadır. Bu durumun aşılması için piston akımlı reaktörler geliştirilmiştir. Özellikle anaerobik filtreler ilk ve yaygın olarak başarı ile uygulanan sistemler olmuştur. Biyokütle; aşağı akışlı sabit yatak filtre reaktörde yüzeyde biyofilm olarak, akışkan yatakta çökelme özelliğine sahip ince dolgu malzemesi (kum, toz, aktif karbon) üzerinde, yukarı akışlı havasız çamur yatağı reaktörde granül halinde, yukarı akışkanlı filtrede filtre dolgu malzemesinin içinde türbülans olmayan boşluklarda büyümektedir. Çıkış suyunda kaçan biyokütleyi geri kazanmak için ardışık olarak standart bir çökeltim havuzu kullanılabilmekte fakat biyokütlenin etkin bir şekilde çöktürülmesi için lamella ayırıcılar veya flotasyon gerekmektedir.

Birçok avantaja rağmen anaerobik filtrelerde karşılaşılan işletim/tıkanma problemleri araştırmacıları daha farklı bir sistem geliştirmeye itmiştir. Yukarı Akışlı Çamur Yatağı Reaktör ve granül oluşumu geliştirilmiştir. Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörünün yüksek çökelme hızına sahip yoğun granülleri, filtrelerde kullanılan pahalı dolgu malzemesine yerine kullanılmış ve özellikle şeker (karbonhidrat) içerikli atıksuların arıtımında eşi olmayan bir başarı göstermiştir.

Yüksek organik yükleme hızları ve biyokütle konsantrasyonu (30000 – 80000 mg/L) ile mükemmel katı/sıvı ayrımı, uygun granülasyon sonrası elde edilmektedir. Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörü ve akışkan yatak gibi biyokütle tutumunda başarılı sistemlerin bile çıkışına ayrı bir katı tutma ünitesi konması gerekmektedir.

Endüstriyel ölçekte kompleks süt atıksularının arıtımında Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörü' nün performansı incelenmiş ve birçok araştırmacı süt atıksularının anaerobik arıtılabilirliği üzerine araştırma yapmıştır. Bu araştırmacılardan;

Ghally ve arkadaşları (1996); iki kademeli, iki fazlı bir reaktör sistemi kullanarak bir çalışma yapmıştır. Sisteme sıcaklık (25 ve $35^{O}C$) ve hidrolik alıkonma süresi (10, 15 ve 20 gün) parametrelerinin ve metan oluşumu safhasında pH denetiminin etkileri incelenmiştir. pH denetimi yapılmadığı koşullarda metan üretiminin düştüğü, sıcaklık arttıkça ve hidrolik alıkonma süresi azaldıkça biyogaz üretiminin arttığı, sıcaklık ve hidrolik alıkonma süresi arttıkça KOİ' deki azalmanın arttığı gözlenmiştir.

İnce ve arkadaşları (1998); süt atıksularının arıtımında iki fazlı anaerobik sistemlerin performansı üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu fazlardan birincisi; tam karışımlı anaerobik sistem ön-asidifikasyon reaktörü, ikincisi ise yukarı akışlı anaerobik filtre methanojenik reaktörüdür. Bu reaktördeki kullanılan atıksu; süt ve kaymak fabrikalarından elde edilmiştir. Ön Asidifikasyon Reaktörlerinin performansında; süt atıksularının ön-asidifikasyonu için başlangıçta işlem kriterleri belirlenmiştir. Bu kriterlerde; 6 farklı pH ve sıcaklık aralıkları en iyi bileşimin belirlenmesi amacı ile araştırılmıştır. Araştırma sonucunda sıcaklık oranının $34\text{-}36^{0}C$ arasında ve pH oranının ise 5.7–5.8 arasında olduğu belirlenmiştir. İşlem şartlarının belirlenmesinden sonra tam karışımlı anaerobik sisteme taze çamur verilmiştir. 9 aylık işletim sürecinde, 5 kg KOİ/$m^3$.gün organik yükleme değerinde ve 2 gün hidrolik bekleme sürelerinde %90 KOİ ve %95 BOİ giderimi sağlanmıştır. Ön Asidifikasyon Reaktörü 0.5 gün bekleme süresi ile 5 kg KOİ/$m^3$.gün yükle çalıştırılmıştır. Ön asidifikasyon sürecinde üretilen uçuçu yağ asitlerinin hemen hemen hepsi yukarı akışlı anaerobik filtre reaktörlerinde metan gazına dönüşmüştür. Asit ve metan fazlarının iyi olarak ayrıştırılması üretilen metan miktarının artmasını sağlamıştır.

Gavala ve arkadaşları (1999); peynir üretimi yapan endüstrilerden kaynaklanan peynir altı suyunun Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörleri ile arıtımı üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada peynir üretimi yapan endüstrilerden kaynaklanan 40–60 g KOİ/Lgün değerindeki, peynir altı suyu kullanılmıştır. Çalışmada maksimum organik yükleme oranı, maksimum giriş KOİ konsantrasyonu, KOİ giderimi ve aynı hidrolik besleme süresi ile kademeli olarak arttırılan giriş KOİ konsantrasyonuna karşın, KOİ giderimi incelenmiştir. Ayrıca çözünmüş KOİ, pH, biyogaz üretimi ve bileşenleri izlenerek reaktörün, atıksuyu farklı organik yükleme hızlarında çalıştırma verimi ve performansı incelenmiştir. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörü (UASB); seyreltilmiş 2500 mg/L KOİ içeren peynir altı suyu ile beslenmiştir. Performansların karşılaştırılması amacıyla; ayrı olarak 8 L hacminde doldur-boşalt tankı kullanılmıştır. Bu tank seyreltilmemiş 60000 mg/L KOİ içeren peynir altı suyu ile beslenmiştir. Bu iki reaktör 35$^{o}$C de işlem görmüştür. İşlemde organik yükleme oranı 6.2 g KOİ / L gün olarak uygulanmış ve 7.5 g KOİ / L gün'e arttırılarak KOİ giderim değerleri araştırılmıştır. Giriş organik yükleme değeri 6.2 g KOİ / L gün olan atıksu, hidrolik bekletme süresi 6 günlük periyot ile Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörüne beslenmiştir. Maksimum KOİ giderimi; organik yükleme oranının 7.2 g KOİ / L gün de %98 olarak gözlenmiştir. organik yükleme değerinin 7.5 g KOİ / L gün'e çıkarılması sonucunda KOİ gideriminin % 85 – 90 arasına düştüğü gözlenmiştir. Giriş KOİ konsantrasyonunun artması biyogaz üretimini ve pH değerini etkilemiştir. Doldur-boşalt tankında ise; Birinci periyotta KOİ giderimi sağlanmıştır, ikinci periyotta giriş KOİ konsantrasyonu sabittir, fakat hidrolik bekletme süresi aşamalı olarak 6 günden 20 güne çıkarıldığında KOİ giderimi %80–90 arasında kalmıştır. Üçüncü periyotta ise seyreltilmeden KOİ konsantrasyonu arttırılmıştır ve bu periyotta hidrolik bekletme süresi 30 güne kadar çıkarılmıştır. Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörleri; büyük miktarlarda peynir suyu içeren süt atıksularının arıtımı için başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Amaçların karşılaştırılması için, doldur-boşalt tankları seyreltilmemiş süt ile beslenmesi çalışılmıştır. UASB reaktörlerinde en uygun organik yükleme 6.2 g KOİ / L gün ve hidrolik bekletme süresi 6 gün bulunmuştur. Ancak doldur boşalt tankları için en uygun organik yükleme 2.3 g KOİ / L gün ve hidrolik bekletme süresi 26 gün bulunmuştur.

Punal ve arkadaşları (1999); Tek ve çoklu beslemeli yukarı akışlı anaerobik filtrede peynir atıksuyunun arıtımı 20 g KOİ/Lgün' den büyük organik yükleme hızlarında işletilerek, verimi üzerine bir çalışma yapılmıştır. BiyoReaktörlerdeki, farklı yüksekliklerdeki çamurun hidroliz, asidojenik ve metanojenik aktiviteleri ölçülmüştür. Çoklu beslemeli sistemde biyokütle miktarı az iken; tek beslemeli sistemde homojen olarak tüm sistemde dağılmışlardır. Farklı grupların etkinliklerinin çoklu beslemeli sistemlerde daha fazla olduğu, çoklu beslemeli sistemdeki metanojenik kapasitenin tek beslemeliye göre daha yüksek ve bu yüksek organik yükleme hızlarında daha esnek çalıştırılmayı sağladığı belirlenmiştir. Tek beslemeli sistemde floklar oluşurken, çoklu sistemde granülleşme görülmüştür. Bununla birlikte oluşan gaz çoklu beslemeli sistemde daha kolay ortaya çıkmış ve toplanmıştır. Böylece reaktör de ölü bölgeler oluşumu, tıkanıklık gibi verimliliği etkileyen faktörlerden etkilenmemiştir.

İnce ve arkadaşları (2000); anaerobik sürekli karıştırılan tanklarda biyofilm sistemlerinin süt atıksularından enerji kazanımı üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada metan üretimi ve atıksu arıtımı hızını oldukça arttıracak kolay ve ucuz biyofilm destek sistemi bulunmaya çalışılmıştır. Klasik delikli malzemeden tam karışımlı tank reaktörüne eklenerek, oluşan metanın %20' den fazla olması sağlanmıştır. Bu yolla süt atıksularının arıtımında tam karışımlı anaerobik çürütücünün performansı, biyofilm destek sistemi ile arttırılabildiği belirlenmiştir.

Uemura ve arkadaşları (2000); evsel atıksuyun (3000 mgKOİ/L), 21.5 L' lik UASB reaktörde, 11 kgKOİ/$m^3$gün organik besleme hızı ve 4.7 saat HRT' de 178 gün süreyle anaerobik işlemi bir çalışma yapmıştır. Reaktör, 178 günlük fermantasyon süresince, 57 gün 25 $^{O}$C' de, 36 gün 22 $^{O}$C' de, 31 gün 19 $^{O}$C' de, 29 gün 16 $^{O}$C' de ve son 25 gün 13 $^{O}$C' de çalıştırılmıştır. Çalışma sonucunda sıcaklığın düşürülmesi ile KOİ gideriminin %70' den %64' e, biyogazın metan içeriğinin ise %60' dan %35' e düştüğü bulunmuştur. Üretilen metanın, giderilen KOİ' ye oranı ise 25 $^{O}$C' de 0.26 L $CH_4$ / g KOİ iken 13 $^{O}$C' de 0.16 L $CH_4$ / g KOİ' dir. Çalışmada, evsel atıksuyun düşük sıcaklıklarda anaerobik arıtımının biyogaz üretim verimi açısından verimli olmadığı belirlenmiştir.

Demirer ve arkadaşları (2000); peynir üretim tesisi, tavuk üretim çiftliği ve zeytin yağı üretim tesislerinden çıkan atıksuların, 50 mL' lik serum şişelerinde, 35 $^{O}$C' de ve 14 gün SRT' de sırasıyla 70 ve 45 gün süreyle kesikli anaerobik arıtımı ve biyokimyasal metan potansiyeli üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda peynir üretim tesisi atık suyunda 23.4 L $CH_4$ / $L_{atıksu}$ tavuk üretim çiftliği atık suyundan 33.5 L $CH_4$ / $L_{atıksu}$ ve zeytin yağı üretim tesisi atık suyunun metan üretim veriminin 57.5 L $CH_4$ / $L_{atıksu}$ olduğu saptanmıştır. Çalışmada ayrıca atıksulardan üretilen biyogazın metan içerikleri de sırasıyla %77, %78 ve %77 olarak belirlenmiştir.

Han ve arkadaşları (2001); pH 5,5 ve 37 $^{O}$C' de süt atıksularının (30-82 g KOİ/L) asidifikasyon etkisinin kesikli ve sürekli sistem reaktörlerinde verimi üzerine bir çalışma yapmıştır. Kesikli deneylerde, protein ve yağlara göre karbonhidratların daha kolay asidifiye olduğu görülmüştür. Karbonhidratların asidifiye olmasıyla hidrojen ve UYA' lar oluşurken, proteinlerin asidifiye olmasıyla yüksek moleküler ağırlığa sahip UYA' lar üretilmiştir. Kuvvetli atıksuların arıtılmasında, sistemin çalışmasının sonundan önce pik değerlere ulaşıldıktan sonra $H_2$' nin kısmi basıncı, asetat ve bütirat azalmıştır. Sürekli işletilen 12 saat hidrolik bekletme süresine sahip sistemde, artan KOİ değeriyle verimin 2 g KOİ/L için %57.8' den 30 g KOİ/L için %28.8' e düştüğü gözlenmiştir. Süt atıksularındaki bileşenlerden karbonhidratların %82-99' u, proteinlerin %59-85' i ve yağların %12-42' sinin asidifiye olduğu saptanmıştır. Kesikli sistemde, sistem; 2 – 4 – 8 – 12 – 20 ve 30 g KOİ/L değerlerinde ve 37 $^{O}$C' de çalıştırılmıştır. Sistemdeki karbonhidrat ve protein derişimini düzenli aralıklarla arıtımında karbonhidratların 2 gün içinde hızla azalıp tükendiği gözlenmiştir. Alkollerin üretiminin UYA'ların üretiminden daha yavaş olduğu, $H_2$' nin kısmi basıncının başlangıçta 0.17 atm iken, karbonhidratlar bitince 0.55 atm' e ulaştığı gözlenmiştir. Kuvvetli atıksuların arıtımında ise, orta kuvvetteki atıksuların tersine, asetat ve bütirat oluşumunun pik yaptıktan sonra 4 gün boyunca azaldığı ve bu dönemde de protein ayrışmasının başladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak kesikli sistemlerde karbonhidratlar bitmeden proteinlerin ayrışması ve bu ayrışmayla oluşacak ürünlerin gözükmediği saptanmıştır. Sürekli sistemlerde de gelen KOİ yükünün artmasıyla verimin düştüğü gözlenmiştir.

Ramasamy ve arkadaşları (2004); süt atıksularının arıtımı için yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörlerinin kullanımı üzerine bir fizibilite çalışması yapmıştır. Bu çalışmada 4 ayrı reaktör kullanılmıştır. Bu reaktörlerin ikisinde granül oluşumu için büyük hayvanların gübre çamurları, diğer ikisinde ise şeker endüstri reaktör çamuru kullanılmıştır. Reaktörler; 3 saatlik ve 12 saatlik hidrolik bekleme sürelerinde çalıştırılmıştır. Bu reaktörlerin herbiri sentetik süt atıkları ile beslenmiştir. Sentetik süt atık suyu; süt tozunun eritilmesi ile elde edilmiştir. Dört reaktörün hepsi düşük organik yükleme (2.4 kg KOİ/$m^3$.gün) ile başlamıştılarak çamur granüllerinin gelişmesi sağlanmıştır. Çalışma 210 gün devam etmiştir. 40 gün boyunca KOİ giderimi; hidrolik yükleme süresi 12 saat olan büyük hayvanların gübre çamurlarından oluşan granüllü UASB reaktörlerinde %70 oranlarında, şeker endüstri reaktör çamurundan oluşan granüllü UASB reaktörlerinde ise %85 oranlarında elde edilmiştir. Hâlbuki 3 saatlik hidrolik yükleme sürelerinde KOİ giderimi her iki reaktörde de %60 oranlarında elde edilmiştir. 40 günden sonra organik yükleme 3.6 kg KOİ/$m^3$.gün yapılarak diğer 50 gün için hazırlanılmıştır. 50 günlük bu periyot reaktörlerin performansını düzeltmiştir. KOİ giderimleri %90'lara ulaşmıştır. Bu giderim sonucunda yükleme 7.2 kg KOİ/$m^3$.gün yapılarak arttırılmıştır. Fakat bu yüklemede sistemden çamur kaçışının olmasından dolayı verimin düştüğü gözlenmiştir.. Bu yüzden yükleme 5.4 kg KOİ/$m^3$.gün'e düşürülmüş, çamur kaçışı engellenmiş ve KOİ giderimi iyileştirilmiştir. Bundan sonra yüklemeler kademeli olarak arttırılmıştır. Şeker reaktör çamurundan oluşan granüllü UASB reaktörlerinde ilk birkaç ay KOİ giderimi diğer reaktöre göre daha başarılıdır. Fakat hayvanların gübre çamurlarından oluşan granüllü UASB reaktörlerinde; kademeli olarak çamurlarda granül oluşmuş ve çökme gözlenmiştir ki bu da rektörlerin performansını arttırmıştır. Granüllü prosesler süt atıklarının içerisindeki karbonhidratların ve polimer katı maddelerin kolay bozulmasında yardımcı olmaktadır. 7 aylık çalışmanın sonucunda reaktörler arasında KOİ giderimi açısından çok büyük farklar olmadığı gözlenmiştir. En iyi performans; gübre çamurlarından oluşan granüllü UASB reaktörlerine 3 saatlik hidrolik yükleme süresi ile 13.5 kg KOİ/$m^3$.gün organik yükleme yapıldığı zaman %86 KOİ giderimi görülmüştür.

Farizoğlu ve arkadaşları (2004); jet döngü membran biyoreaktörünün peynir altı sularının arıtım kapasitesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Karbonlu, azotlu ve fosforlu bileşiklerden oluşan peynir altı sularının yeraldığı sistem; 3.5-33.5 kg KOİ/$m^3$gün KOİ yüklerinde, 1.1-2.8 gün çamur yaşında 3 ay çalıştırılmıştır. 22.2 kg KOİ/$m^3$gün KOİ yükü ve 1.6 gün çamur yaşında %97 arıtım verimine ulaşılmıştır.

Demirel ve arkadaşları (2005); süt atıksularının anerobik arıtımı çalışmalarını revize etmişlerdir. Süt atıksularının tek fazlı anaerobik arıtımı; anaerobik arıtım prosesleri süt atıksularının ve özellikle yüksek organik madde içeren zirai endüstri atıksularının arıtımı için aerobik arıtım prosesleri ile kıyaslandığında daha uygun bir arıtma olduğu belirtilmiştir. Süt atıksularının iki fazlı anaerobik arıtımı; İki fazlı anaerobik arıtma sistemleri gıda ve zirai endüstri atıksuları gibi yüksek konsantrasyonlarda askıda katı madde içeren atıksuların arıtımı için uygundur. İki fazlı anaerobik arıtımı süresince asit fazlı reaktörün performansı metan fazlı reaktöre uygun substrat sağlamak için önemlidir. Süt atıksularının arıtımı için anaerobik arıtma proseslerinden genel olarak anaerobik filtreler ve yukarı akışlı anaerobik çamur reaktörleri kullanılmaktadır. Yukarı akışlı anaerobik çamur reaktörleri yüksek organik yüklü atıksuları kısa periyotlar ile arıtabilmektedir. Tek fazlı anaerobik reaktörlerde yağ bozulmaları ve inhibisyonların sıklıkla olduğu gözlenmiştir. Çevre mühendisleri ve atıksu arıtma operatörleri bu problemle sıklıkla karşılaşmaktadır. Süt atıksularının içerisindeki yüksek konsantrasyonlu katı atıklar yukarı akışlı anaerobik çamur reaktörlerinin performansını etkilemektedir. Tek fazlı anaerobik reaktörlerinde bu problemin görülmesi ile iki fazlı anaerobik reaktörler kullanılmıştır ve iki fazlı anaerobik reaktörlerin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. İki fazlı anaerobik sistemlerde ilk faz asit fazı olarak kullanılmakta diğer faz ise metan fazı olarak işlem görmektedir .

Göblös ve arkadaşları (2008); anaerobik sıralı kesikli rektörlerin iki farklı substrat ile beslenerek, bu substratların arıtma performansları üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada substrat olarak ham peynir suyu ve *Kluyveromyces lactis* ile fermante edilmiş peynir suyu kullanılmıştır. Reaktörlerin her birine 800 ml substrat ve 1400 gr anaerobik çamur ilave edilmiştir. Deneye başlamadan önce reaktör işletim şartlarının sağlanabilmesi için 20 gün beklenmiştir. Deney başlarında 4–5 gün ara ile 1.6 – 2.8 gr KOİ / $dm^3$ gün organik yükleme yapılmıştır. Kararlı hale geldikten sonra hidrolik bekletme süresi 2 güne düşürülmüştür. 2 gün sonunda çıkış suları toplanarak KOİ, uçucu yağ asidi ve $NH_4^+$ - N analizleri yapılmıştır. Biyogazın miktarı hacimsel olarak ölçülmüştür. Ayrıca pH değerlerine günlük bakılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki fermante edilmiş peynir suyunun performansı özellikle metan ve biyogaz üretiminde ham peynir suyuna göre daha iyidir. Bunun iki sebebi vardır ki bunlardan birincisi ham suyun organik bileşimi olan laktozun asidojenik faz boyunca anaerobik fermantasyonlar içinde bozunması ve karbondioksit üretimi sağlarken düşük metan oluşumuna sebep olmasıdır. İkinci sebep ise asidonejik faz boyunca laktozun bozulması sonucu oluşan organik asitler birikmekte buna bağlı olarak pH değeri ve etanol üretimi azalmaktadır. pH kontrolünün ve etanol üretiminin sağlanması amacı ile ham peynir suyu *Kluyveromyces lactis* ile fermante edilmiştir. Böylece asidojenik fazda; etanol üretimi başladığı zaman pH da azalma görülmemiştir.

# 3. MATERYAL VE METOT

## 3.1. Deneylerde Kullanılan Peyniraltı Suyu-Yoğurtaltı Suyu ve Anaerobik Aşı Çamurunun Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan ham madde, peyniraltı suyu, yoğurtaltı suyu ve anaerobik aşı çamurudur. Peyniraltı suyu ve yoğurtaltı suyu orta ölçekli bir süt ürünleri işletmesinden temin edilmiştir. PAS ve YAS numuneleri bidonlar ile alınmış ve vakit kaybedilmeden laboratuvara getirilip, deneylerin başlatılması için buzdolabında korunmuştur. Anaerobik aşı çamuru ise Konya Şeker Fabrikası anaerobik reaktöründen temin edilmiştir.

PAS ve YAS numunelerinin alındığı tesiste; ham sütten beyaz peynir, yoğurt, süzme yoğurt, kaşar peyniri ve şişelenmiş süt üretimi, kesikli ve aralıklı bir süreçte yapılmaktadır. Günlük süt kullanımı 30-35 tonu bulmaktadır. Haftalık gelen sütün % 65-70'i beyaz peynir üretiminde, % 10-15'i yoğurt yapımında ve kalanı diğer ürünler için kullanılmaktadır. 1 ton sütten yaklaşık 650-750 L PAS ve 700 L YAS oluşmaktadır. PAS ve kaşar peyniri üretimi atıksuyu gıda endüstrisinde kullanılmaktadır, fakat YAS için herhangi bir faydalı kullanım uygulaması bulunmamaktadır. Değerlendirilemeyen atıksular şehir kanalizasyonuna verilmekte ve bu da evsel atıksuların kirletici yükünü arttırmaktadır.

YAS mayalanmış yoğurdun süzülmesi ile oluşmakta ve PAS' a göre daha yüksek miktarda $Ca^{2+}$, $K^{+}$, organik asit, daha düşük miktarda $Na^{+}$ ve $Cl^{-}$ içermektedir. PAS ise peynirin mayalanmasından sonra arta kalan sudan oluşmakta ve yüksek miktarda laktoz içermektedir. Her iki atıksu da organik asit, yağ ve iyon bakımından zengindir. Atıksuların yüksek asidik karakteri pH ve asidite değerleri ile ortaya konmaktadır. Atıksularda alkalinite mevcut değildir. Yüksek organik madde ve yağ-gres içeriği bulunmaktadır. Ayrıca yoğurtaltı suyunda koyu sarı renk ve peyniraltı suyunda beyaz sarı renk mevcuttur. Azot düşük miktarda mevcuttur.

Atıksuların özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1 Yoğurtaltı ve peyniraltı sularının karakterizasyon değerleri

| Parametre | Yoğurt altı atıksuyu | Peynir altı atıksuyu | Analiz sayısı | Standart Sapma | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | YAS | PAS |
| pH | 3.95-4.67 | 4.52-4.99 | 12 | 0.51 | 0.33 |
| Asidite | 4200-9500 | 1933-6100 | 12 | 1114 | 1670 |
| KOİ | 16.640-47.400 | 19136-59392 | 12 | 17580 | 19890 |
| TKN | 22-32 | 30-46 | 8 | 6 | 8 |
| $NH_3$-N | 16-20 | 20-28 | 8 | 3 | 5 |
| $Cl^-$ | 450-790 | 650-890 | 12 | 140 | 135 |
| Yağ-gres | 2900-11140 | 5100-10415 | 12 | 4812 | 5786 |
| $K^+$ | 1500-2845 | 975-1100 | 12 | 1020 | 96 |
| $Ca^{+2}$ | 1200-1875 | 675-1180 | 12 | 477 | 888 |
| $Na^+$ | 750-987 | 1175-1890 | 12 | 160 | 430 |
| $SO_4^{-2}$ | 20-68 | 30-86 | 12 | 24 | 28 |

*pH ve asidite (mg/$CACO_3$ L) dışında bütün birimler mg/L

Tablo 3.1' de görüldüğü gibi analiz sayıları da verilmiş ve toplamda 12 kere analiz yapılmıştır. 12 kez analiz yapılmasının sebebi YAS ve PAS'ın proses çıkış suyu değerlerinin değişken olmasındandır. İşletmeden farklı zamanlarda YAS ve PAS getirilmiştir. Her farklı numune için analiz yapılarak ortalama değer alınmıştır.

## 3.2. Deney Düzeneği

### 3.2.1. Reaktörler

Deneylerde kullanılan reaktörler Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Rektörleri (HÇYR)'dir. Bu reaktörler 10.8 cm çapında, 120 cm yüksekliğinde ve 10.98 L hacminde yaptırılmıştır.

Reaktörler yükseklik boyunca 4'er numune alma musluğu ile inşa edilmiştir. Birinci (1.) reaktörün çıkışı ikinci (2.) reaktöre, ikinci (2.) reaktörün çıkışı ise çıkış tankına hortumlar ile bağlanmıştır.

İki Kademeli Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörleri (HÇYR); önce anaerobik aşı çamuru ile doldurulmuş ve daha sonra pompa devreye alınarak, atıksu beslemesi başlatılmıştır. Resim 3.1' de reaktör düzeneği görülmektedir.



Resim 3.1 Arıtım çalışmalarında kullanılan yukarı akışlı ardışık anaerobik çamur yatağı rektörleri (HÇYR)

## 3.3. Deneysel Parametrelerin Belirlenmesi

### 3.3.1. Sıcaklık

Metan bakterilerinin, diğer tüm mikroorganizmalarda olduğu gibi, büyümeleri ve etkinlik gösterebilmeleri doğrudan sıcaklığa bağlı olduğu için, sıcaklıktan oldukça etkilenirler. Deneylerde sıcaklık denetimini yapmak için ısıtıcı kullanılmış, sıcaklığın 30 – 32 $^{o}$C olması sağlanmıştır.

### 3.3.2. pH

Birçok farklı mikroorganizma topluluğunun bulunduğu anaerobik sistemlerde; bakterilerin maksimum gelişmesini sağlayacak bir pH aralığı sağlanmalıdır. Sürecin gelişimi açısından pH' ın optimum koşullarda tutulması önemlidir. Çünkü; anaerobik fermentasyonu denetleyen en önemli etkenlerden birisi de ortamın pH değeridir. Bu nedenle pH da bir parametre olarak seçilmiştir. Literatür bilgileri doğrultusunda pH 6.8 – 7.6 aralığında seçilmiştir. pH denetimi 1 M NaOH çözeltisi ile yapılmıştır. Reaktörler içerisindeki hammaddelerin hacimlerinin, eklenen bazla artmasını engellemek için kullanılan NaOH çözeltisinin derişimi gelen atıksuyun pH değerine göre arttırılmıştır.

## 3.4. Analiz Yöntemleri

PAS ve YAS için analizde izlenen parametreler ve yöntemleri;

- KOİ → 5200-C metodu ile (APHA, 2005)
- Alkalinite → 2310.B metodu ile (APHA, 2005)
- Asidite → 2310.B metodu ile (APHA, 2005)
- BOİ → 5210-B metodu ile (APHA, 2005)
- $NH_3$-N → 4500-$NH_3$-C metodu ile (APHA, 2005)
- TKN → 4500-Norg-B metodu ile (APHA, 2005)
- $Cl^-$ → 4500-$Cl^-$B metodu ile (APHA, 2005)
- Yağ-Gres → 5520-B metodu ile (APHA, 2005)

- $PO_4$-P ⟶ 4500-P-C metodu ile (APHA, 2005)
- $S^{-2}$ ⟶ 4500-$S^2$ -F metodu ile (APHA, 2005)
- pH ⟶ WTW 315i Model pHmetre ve Sen Tix 20 elektrodu ile
- Gaz Ölçümü ⟶ Drager marka gaz ölçme cihazı ile
- Uçucu yağ asit ve bikarbonat ⟶ Üç noktalı titrasyon metodu ile
- $SO_4^{-2}$, $Na^+$, $Ca^{+2}$, $K^+$ ⟶ Küvet testler ile ölçülmüştür.

### 3.5. Atıksu Beslemeleri

#### 3.5.1. Tek kademeli yukarı akışlı ardışık anaerobik çamur yatağı reaktörlerinin (HÇYR) beslenmesi

Adaptasyon dönemi başlangıcında; herbir besi için tek (1) kademe olmak üzere parelel 2 reaktörde çalışılmıştır. Reaktörlerden birisi PAS için diğeri ise YAS için kullanılmıştır. Asidojenik ve metanojenik faaliyetler tek reaktörde gerçekleşmiştir. Besi tankları içerisine ısıtıcı konularak besi sıcaklığının 30 – 32 $^oC$ ‘ de olması sağlanmıştır.

Tek kademeli HÇYR’ ne yaklaşık 2 L’lik özümleyici çamur boşaltılarak, sentetik atıksu ile beslenmeye başlanılmıştır. Sentetik atıksu ile besleme 4 hafta boyunca devam etmiştir. Sentetik atıksu; sodyum asetat, metanol ve ham atıksu (13/1000 seyrelme) ile hazırlanmıştır. Bu şekilde reaktör biyokütlesinin ham atıksulara adaptasyon geliştirmesi ve uygun substratlarla metan bakterilerinin aktif hale getirilmesi amaçlanmıştır. Tek kademeli HÇYR’ nin, mezofilik sıcaklıkta sentetik atıksu ile beslenmesi sonucunda asit bakterileri önemli derecede asidifikasyon gerçekleşmiştir. Sentetik atıksu beslemesinin sona ermesinin ardından, Tek kademeli HÇYR’ ne, 1.26 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde PAS ve 1.13 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde YAS; 1 M NaOH ile pH=7.5’a ayarlanarak beslenmeye başlanmıştır. Hidrolik bekletme süresinin ($\theta$) 0.8 gün ve ($\theta$) 1.5 gün olduğu durumlarda, sistemde yetersiz KOİ giderimi elde edildiğinden, hidrolik bekletme süresinin ($\theta$) 2 güne çıkarılması uygun bulunmuştur.

Tek kademeli çalışma süresince; hem yoğurt besi tankında hem peynir besi tankında yüksek derecede asitlenme olduğu Tek kademeli HÇYR' de asidojenik ve metanojenik faaliyetlerin aynı reaktörde istenilen verimde olmadığı, reaktörlerde uçucu yağ asit miktarının çok fazla biriktiği ve KOİ gideriminin yeterli derecede olmadığı gözlenmiştir. Dolayısıyla iki kademeli HÇYR' ne geçilmiş ve çalışmalara devam edilmiştir.

### 3.5.2. İki kademeli yukarı akışlı ardışık anaerobik çamur yatağı reaktörlerinin (HÇYR) beslenmesi

İki Kademeli HÇYR' ne geçişle birlikte adaptasyon dönemi başlamış, reaktörler 1.52-5,5 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde PAS ve 1.28-6,5 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde YAS ile beslenmeye başlanmıştır.

Adaptasyon dönemi başlangıcında; herbir besi için iki (2) kademe olmak üzere parelel 4 reaktörde çalışılmıştır. Reaktörlerden ikisi PAS için diğer ikisi ise YAS için kullanılmıştır. Çalışmada besi tankları; hidroliz ve asitlenme reaksiyonlarının gerçekleştiği tank, 1. ve 2. reaktörler ise metanlaşma reaksiyonlarının gerçekleştiği reaktör olarak kullanılmıştır.

İki Kademeli HÇYR' de hidrolik bekletme süresi her reaktör için 2 günde sabit tutulmuş ve toplamda 4 günlük bir hidrolik bekletme süresi uygulanmıştır. Besi çözeltileri, atıksuyun düşük azot içeriği dolayısıyla amonyum klorür ilave edilerek ham atıksu ve sodyum bikarbonat ile hidrolik bekletmeye göre hafta içi 2 günde, haftasonu 3 günde tüketilecek miktarda hazırlanmıştır. Böylece ham atıksularda bulunan fermantasyon bakterilerinin besileri asitlendirerek pH' larının düşmesine sebebiyet vermeleri kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Ayrıca, önceki beslemelerde metan bakterilerinin aşırı pH düşüşünden etkilendiği görülerek, birinci reaktörlere aşı ilavesi yapılmıştır.

71 gün sürecek adaptasyon dönemi boyunca seyrelme oranı 1.5/5 L/L ( 1.5 L ham su + 3,5 L su) olarak uygulanmış, organik yükleme değeri, gelen atıksuyun yüksek KOİ değeri nedeniyle YAS için 1.28-6,5 g KOİ/L.gün, PAS için 1.52-5,5 g KOİ/L.gün seviyesinde gerçekleşmiştir.

İki Kademeli HÇYR' de arıtım çalışmaları boyunca organik yükleme değerindaki artışlar, atıksuyun besi çözeltisindeki seyrelme oranı düşürülerek uygulanmıştır. atıksuyun besi çözeltisindeki seyrelme oranı düşürülerek uygulanmıştır. Kullanılan seyrelme oranları; 2/5 (2 L atıksu + 3 L çıkış suyu), 2.5/5 (2.5 L atıksu + 2.5 L çıkış suyu), 3/5 (3 L atıksu + 2 L çıkış suyu), 3.5/5 (3.5 L atıksu + 1.5 L çıkış suyu) olarak gerçekleşmiştir.

İki Kademeli HÇYR' de arıtım çalışmaları boyunca, YAS için 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün, 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün, 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme değerlerinde çalışılmıştır. PAS için 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün, 3 – 4.375 g KOİ/L.gün, 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün, 6 – 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme değerlerinde çalışılmıştır.

# 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

## 4.1. Adaptasyon Dönemi Çalışmaları

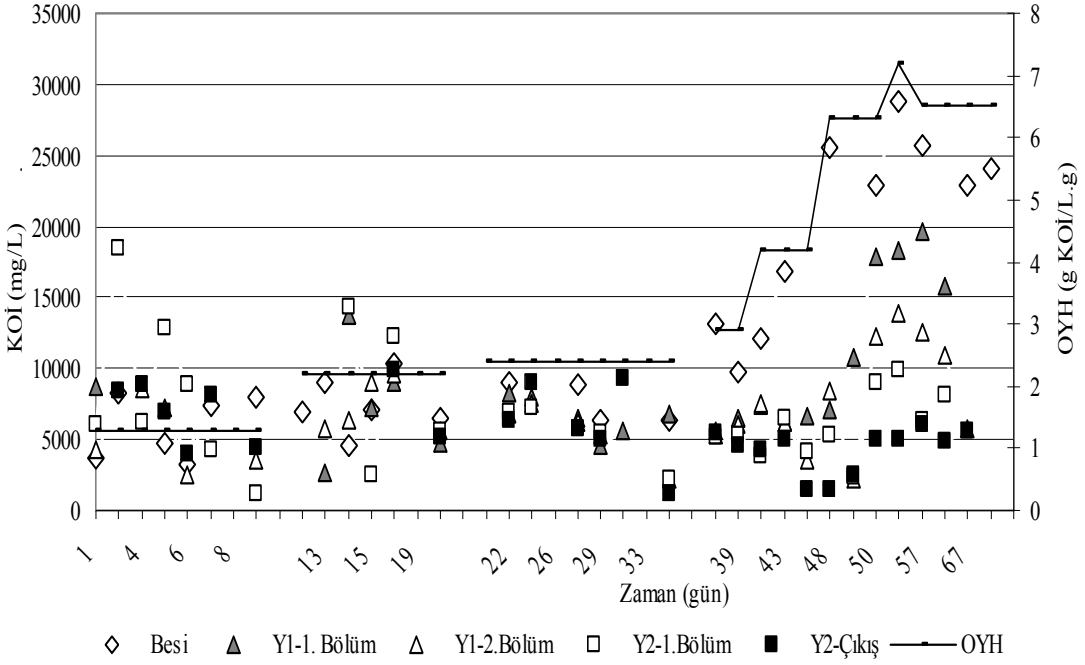
Deneysel çalışmanın ilk aşamasında, PAS' ın ve YAS' ın özelliklerini belirlemek amacıyla deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda PAS' ın; KOİ değeri 38000 mg/L, pH değeri 4.55, YAS' ın; KOİ değeri 28500 mg/L, pH değeri 3.98 olarak ölçülmüştür.

İki kademeli HÇYR' ne yapılan beslemeler sonucu, izleme periyotlarında pH, alkalinite, $HCO_3^-$, UYA, KOİ giderimleri günlük olarak izlenmiştir. Analizler için örnekler; reaktör boyunca bulunan musluklardan, besi tanklarından ve çıkış tanklarından alınmıştır.

Musluk kodlamaları; alt musluktan başlayarak YAS için, Y1-1 (1. reaktör 1. musluk), Y1-2 (1. reaktör 2. musluk), Y1-3 (1. reaktör 3. musluk), Y2-1 (2. reaktör 1. musluk) ,Y2-2 (2. reaktör 2. musluk) ,Y2-3 (2. reaktör 3. musluk), Y2-Çıkış (2. reaktör çıkışı), PAS için, P1-1 (1. reaktör 1. musluk), P1-2 (1. reaktör 2. musluk), P1-3 (1. reaktör 3. musluk), P2-1 (2. reaktör 1. musluk) , P2-2 (2. reaktör 2. musluk) , P2-3 (2. reaktör 3. musluk), P2-Çıkış (2. reaktör çıkışı) şeklindedir.

İki kademeli HÇYR, 1.52-5,5 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde PAS ve 1.28-6.5 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde YAS ile beslenmeye başlanmıştır. Besi çözeltileri, atıksuyun düşük azot içeriği dolayısıyla amonyum klorür ilave edilerek ham atıksu ve sodyum bikarbonat ile hazırlanmıştır.

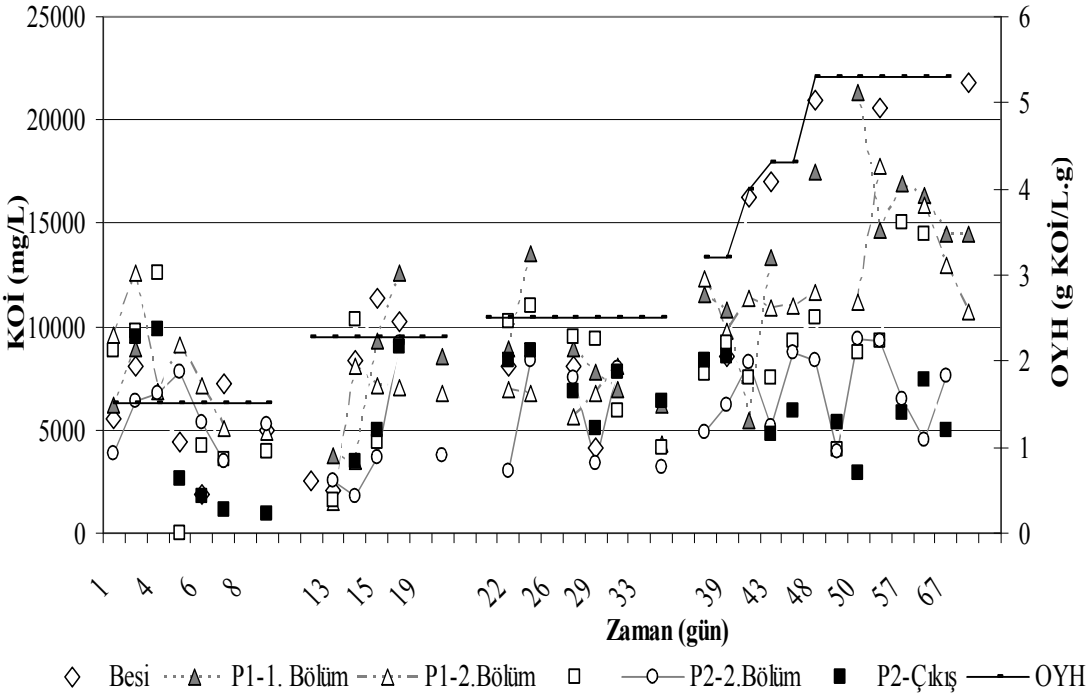
Zamanla organik yükleme değerleri arttırılarak KOİ seviyesi yükseltilmiş ve hidroliz-asidifikasyon süreci başlatılmıştır. Şekil 4.1' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi KOİ değişimi görülmektedir.




Şekil 4.1 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi KOİ değişimi

YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de, organik yükleme değeri kademeli olarak 6.3-6.5 g KOİ/L.gün değerine kadar arttırılırken çıkış KOİ konsantrasyonu hemen hemen 5000 mg/L' de sabit kalmıştır. Y1-1, Y1-2 çıkışındaki KOİ verimleri yüksektir. Bunun sebebi yağ içeriğinin hidroliz ve asitleşmesi reaksiyonlarının sonucudur. Çıkış KOİ konsantrasyonu 5000 mg/L iken %80 KOİ giderimi sağlanmıştır. %80 gideriminin; %60'ı birinci kademe HÇYR' de gerçekleşirken, ikinci kademe HÇYR' de ikinci kademeye giriş KOİ konsantrasyonunun %20' si giderilmiştir. Organik maddelerin çoğu; bakteri yoğunluğunun fazla olduğu birinci kademe HÇYR' de, reaktör yüksekliğinin 1/4' lük kısmında gerçekleşmiştir.

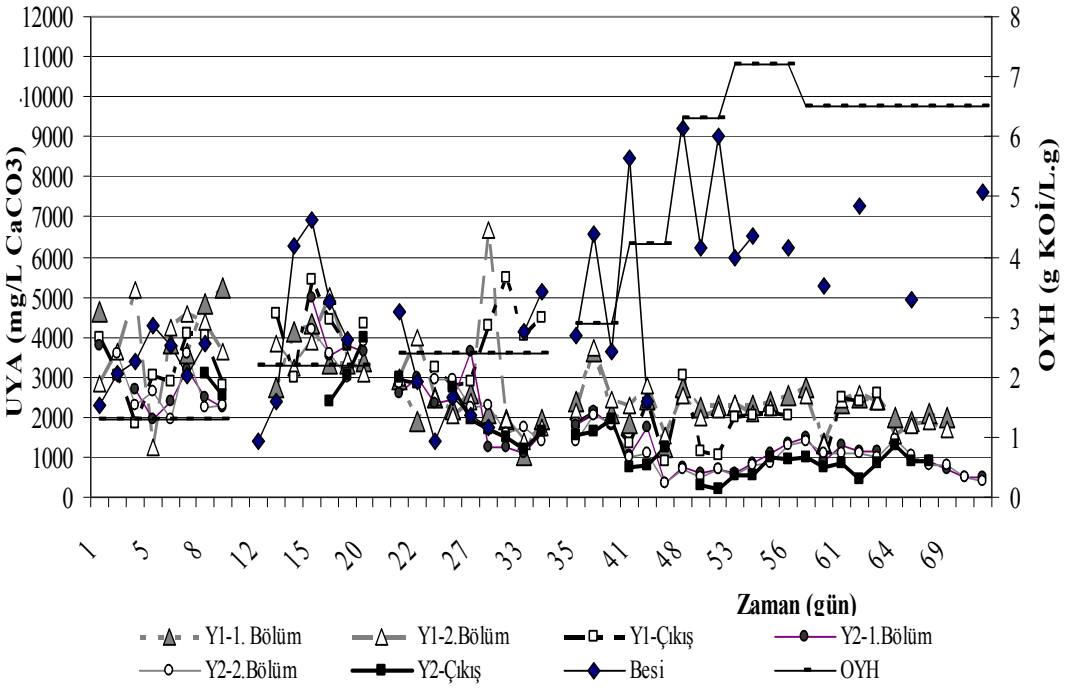
Şekil 4.2' de PAS ile beslenen beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi KOİ değişimi görülmektedir.




Şekil 4.2 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi KOİ değişimi

PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de, organik yükleme değeri kademeli olarak 5-5.5 g KOİ/L.gün değerine kadar arttırılırken, birinci kademe HÇYR ve ikinci kademe HÇYR çıkışındaki dalgalanmalara rağmen çıkış KOİ konsantrasyonu zamanla hemen hemen 5000 mg/L' ye inmiştir. PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de, 50. günün sonunda çıkış KOİ konsantrasyonu 5000 mg/L iken %85 KOİ giderimi sağlanmıştır. %85 gideriminin; %55'i birinci kademe HÇYR' de gerçekleşirken, ikinci kademe HÇYR' de ikinci kademe giriş KOİ konsantrasyonunun %11-36' sı giderilmiştir.

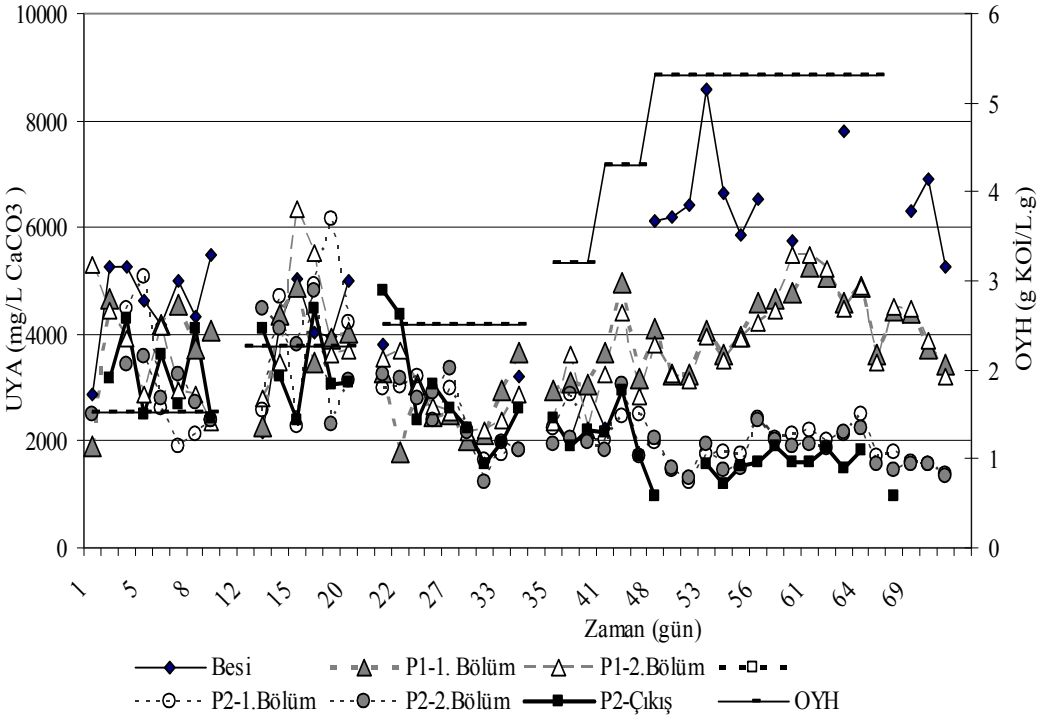
Adaptasyon süresi boyunca; organik yükleme değerinin artması ile İki kademeli HÇYR yükseliği boyunca UYA miktarının arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.3' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi süresince UYA değişimi görülmektedir.




Şekil 4.3 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi UYA değişimi

YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' den, birinci kademe HÇYR' de 42. günün sonunda UYA konsantrasyonunun 4000-5000 mg/L' den yavaş yavaş 2000-2400 mg/L'ye düştüğü daha sonra 2900 mg/L' de dengeye ulaştığı gözlenmiştir. Birinci kademe HÇYR' de, YAS' dan gelen UYA'nın % 60-68'i giderilmiştir. İkinci kademe HÇYR' de UYA konsantrasyonu 1000-1500 mg/L'ye kadar düşmüş ve 49-71 günleri arasında (son 3 haftalık süre) organik yükleme değerinin artmasına rağmen UYA' nın çoğu tüketilmiştir.

Şekil 4.4' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR'de adaptasyon dönemi süresince UYA değişimi görülmektedir.

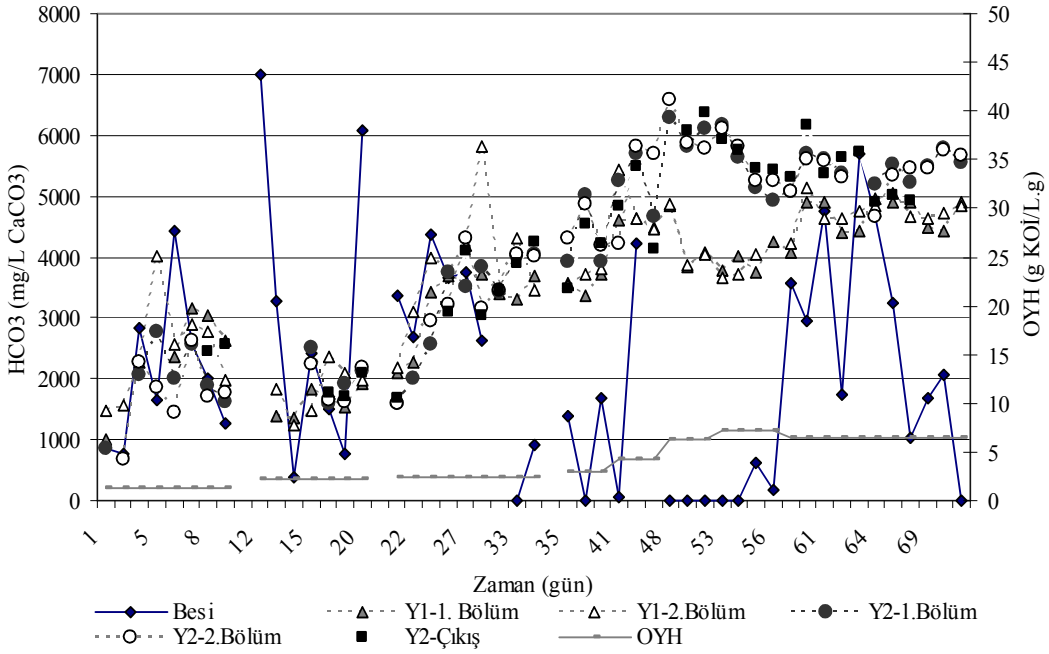



Şekil 4.4 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi UYA değişimi

PAS yüksek miktarda uçucu yağ asidi içermektedir. Organik yükleme değerinin 4 g KOİ/L.g olduğu durumlarda UYA konsantrasyonu 6000-8000 mg/L' ye kadar ulaşmıştır. 50. günün sonunda organik yüklemedeki artışa rağmen birinci kademe HÇYR' de UYA konsantrasyonu 4000-5000 mg/L' ye kadar ve ikinci kademe HÇYR' de ise UYA konsantrasyonu 1500-2000 mg/L' ye kadar inmiştir.

PAS ve YAS kıyaslandığında, YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de daha yüksek seviyede UYA gideriminin olduğu görülmüştür.

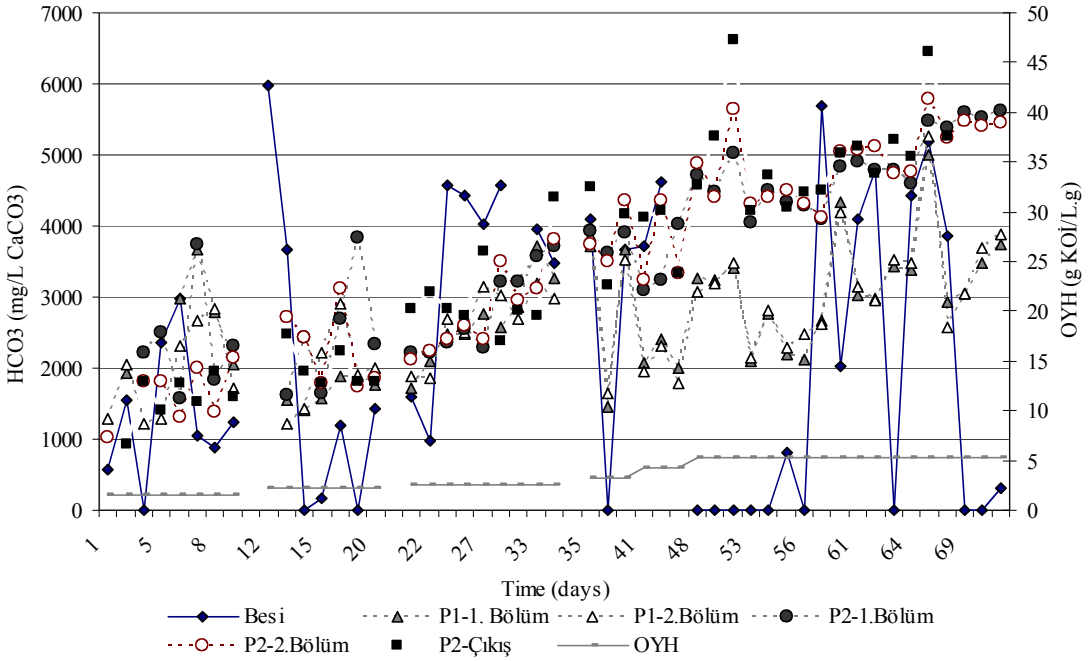
Adaptasyon dönemi süresince besi çözeltilerindeki $HCO_3^-$ konsantrasyonunun 6000 mg/L'ye kadar çıkması UYA' ların tüketilmesi ile sağlanmıştır. Şekil 4.5' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi süresince $HCO_3^-$ değişimi görülmektedir.




Şekil 4.5 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi $HCO_3^-$ değişimi

YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' deki ve çıkış suyundaki $HCO_3^-$ seviyesi; organik yüklemenin artması, bakteri olgunlaşması ve yeterli derece UYA tüketilmesi ile artmıştır. Birinci kademe HÇYR' de organik yüklemenin artmasına rağmen 40. günün sonunda $HCO_3^-$ konsantrasyonu 4000 mg/L ve 71. günün sonunda 4800 mg/L olmuştur. Besleme suyu asidik karakteri 25. günün sonunda dengeye ulaşmış ve bikarbonat artmaya başlamıştır. İkinci kademe HÇYR' de, $HCO_3^-$ konsantrasyonu 5200-5600 mg/L' ye kadar yükselmiştir.

Şekil 4.6' da PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi süresince $HCO_3^-$ değişimi görülmektedir.

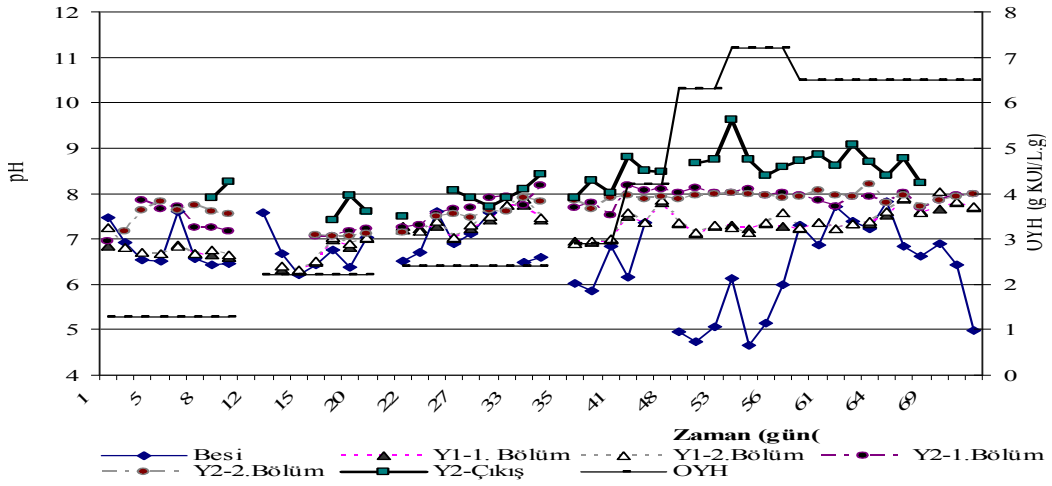



Şekil 4.6 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi $HCO_3^-$ değişimi

PAS ile beslenen birinci ve ikinci kademe HÇYR' de, 25 gün sonra her birindeki organik yükleme değeri yaklaşık 3 g KOİ/L.g olunca $HCO_3^-$ konsantrasyonundaki yavaş artış 3000 mg/L konsantrasyonuna ulaşmış ve 50 günlük çalışma sonunda iki reaktör arasındaki $HCO_3^-$ konsantrasyonundaki farklılık artmıştır. Birinci kademe HÇYR' de, $HCO_3^-$ konsantrasyonu 3000-4000 mg/L' ye ulaşmıştır. İkinci kademe HÇYR' de, $HCO_3^-$ konsantrasyonu 5000-5500 mg/L' ye çıkmış ve bu değerin besi çözeltisindeki $HCO_3^-$ konsantrasyonuna çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Bu durum çıkış suyunun yüksek alkalinite içerdiğini göstermektedir. Çıkış suyu bu özelliği ile geri devir için uygundur. Dolayısıyla arıtım çalışmalarında seyrelme suyu olarak adaptasyon dönemindeki çıkış suları kullanılmıştır.

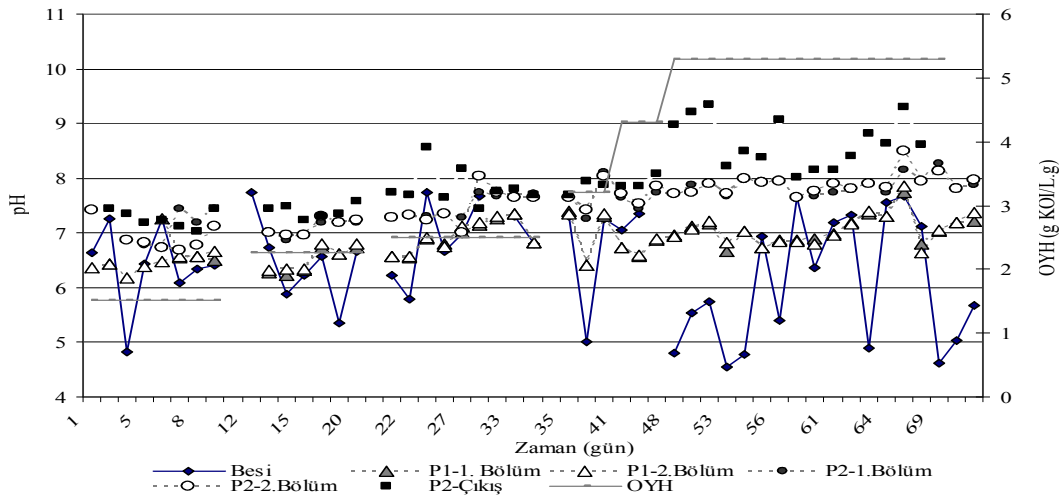
PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR, ile YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR karşılaştırıldığında, PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR'nin yüksek derecede UYA ürettiği gözlenmiştir.

Reaktörlerdeki pH dengesi, $HCO_3^-$/UYA dengesinin fonksiyonudur. Alkalinitenin asidojenik aktivasyon ile hızla tüketildiği besleme çözeltisinde bu fonksiyon kararsızdır. Şekil 4.7' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR'de adaptasyon dönemi süresince pH değişimi görülmektedir.




Şekil 4.7 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi pH değişimi

YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, pH değeri 40. gün sonunda, birinci kademe HÇYR' de 7' ye, ikinci kademe HÇYR' de ise 8' e hızla yükselmiş ve organik yükleme değerinin 4.2 g KOİ/L.g den 6.5 g KOİ/L.g 'e arttırıldığı dönemlerde sabit kalmıştır. Şekil 4.8' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR'de adaptasyon dönemi süresince pH değişimi görülmektedir.




Şekil 4.8 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de adaptasyon dönemi pH değişimi

PAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, pH değeri 48. gün sonunda, birinci kademe HÇYR' de 7' ye, ikinci kademe HÇYR' de ise 8' e hızla yükselmiştir. Çıkış tankının atmosfere açılması ile açığa çıkan karbondioksit sayesinde çıkış pH değeri yaklaşık 9' a yükselmiştir. Gaz fazında $\%CO_2$ oranının, %50' den fazla olduğu saptanmıştır.

Çıkış suyundaki UKM konsantrasyonu YAS ile beslenen birinci kademe HÇYR' de 3200 mg/L, ikinci kademe HÇYR' de 1270 mg/L değerine ulaştığında bakteri yok oluşu kayda değer biçimde meydana gelmektedir. PAS ile beslenen birinci kademe HÇYR' de 4980 mg/L, ikinci kademe HÇYR' de 2490 mg/L seviyesindedir. PAS' ın UKM konsantrasyonunun YAS' a göre fazla olmasının nedeni PAS' ın yüksek miktardaki laktoz ve yağ içeriğine sahip olmasındandır.

YAS ve PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de ilk üç haftalık periyotta, meydana gelen kapsamlı asit üretimi ve geniş dalgalamalar sayesinde reaktörler düşük KOİ giderimi sağlamışlardır. UYA' nın tüketiminin eksikliği kayda değer biçimdedir. 50. ve 71. gün periyotları arasında KOİ giderimi 80% ve 85%' e ulaşmaktadır. KOİ dalgalanmaları; organik yüklemenin artmasına, hidroliz ve asitleştime etkisinin az olmasına (UYA en alt seviyede sabit kaldığında ve sistem için devir noktası anlamına gelen 50. gün sonunda KOİ profilinin reaktörler arasında ve boyunca değiştiğinde) rağmen artmıştır. Parametrelerin dengelenmesi, yüksek organik yükleme değerine sahip olgunlaşmış bakterileri ifade eden 50 .ve 71. gün arasında gözlenmiştir.

İki kademeli HÇYR' nin ilk fazı, çoğunlukla UYA' nın olduğu ve üretildiği besleme çözeltisindeki asidik reaksiyonların başladığı kısmi asitleştirme reaktörü gibidir. Birinci kademe HÇYR' deki farklı seviyelerdeki UYA' nın dengelenmesi süreçteki UYA tüketimini göstermekte ve besleme suyundaki dalgalanan UYA seviyesini etkili biçimde dengelemektedir.

Çalışmamızda adaptasyon süresince; sistemin davranışı gözlemlemek için seyrelme oranı 1.5/5 L/L olarak ve organik yükleme değeri gelen atıksuyun yüksek KOİ içermesi nedeniyle YAS için 1.28-6.5 g KOİ/L.gün, PAS için 1.52-5,5 g KOİ/L.gün seviyesinde uygulanmıştır. KOİ ve UYA çıkış konsantrasyon verimleri baz alındığında; YAS için KOİ çıkış konsantrasyonu 39. günden sonra organik yüklemenin artmasına rağmen sabit kalmıştır. UYA konsantrasyonu 42. günden sonra organik yükleme değerinin artmasına rağmen dengeye ulaşmıştır.

PAS için KOİ çıkış konsantrasyonu 48. günden sonra organik yüklemenin artmasına rağmen sabit kalmıştır. UYA konsantrasyonu 50. günden sonra organik yükleme değerinin artmasına rağmen dengeye ulaşmıştır.

Sonuç olarak; sistemin dengeye gelmesiyle birlikte adaptasyon dönemi bitirilerek, İki kademeli HÇYR' de arıtım çalışmalarına geçilmiştir.

## 4.2. İki Kademeli Yukarı Akışlı Ardışık Anaerobik Çamur Yatağı Reaktörlerde Arıtım Çalışmaları

İki kademeli HÇYR için tipik yükleme aralığı; hidrolik bekletme süresi 4 sa - 4 gün, organik yükleme değeri 2-15 g KOİ/L.gün arasındadır. Süt endüstrisi atıksuları için optimum değerler reaktör tipine ve atık suyun sertliğine yada dayanıklılığına bağlıdır.

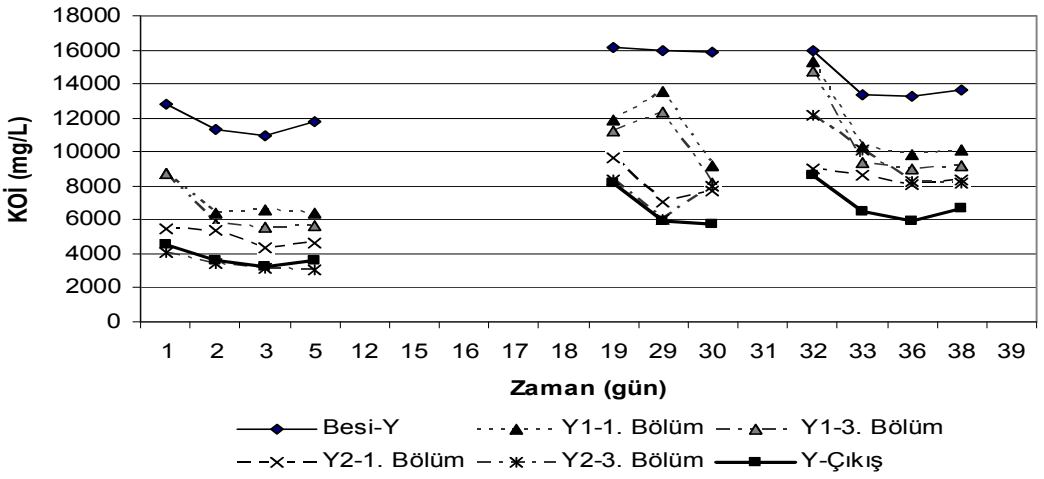
İki Kademeli HÇYR' de arıtım çalışmaları boyunca, YAS için 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün, 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün, 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme değerlerinde çalışılmıştır. PAS için 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün, 3 – 4.375 g KOİ/L.gün, 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün, 6 – 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme değerlerinde çalışılmıştır.

Arıtım çalışmalarında, seyrelme suyu olarak çıkış suyu kullanılmasının sebebi; çıkış suyu bikarbonat konsantrayonunun yüksek olmasındandır.

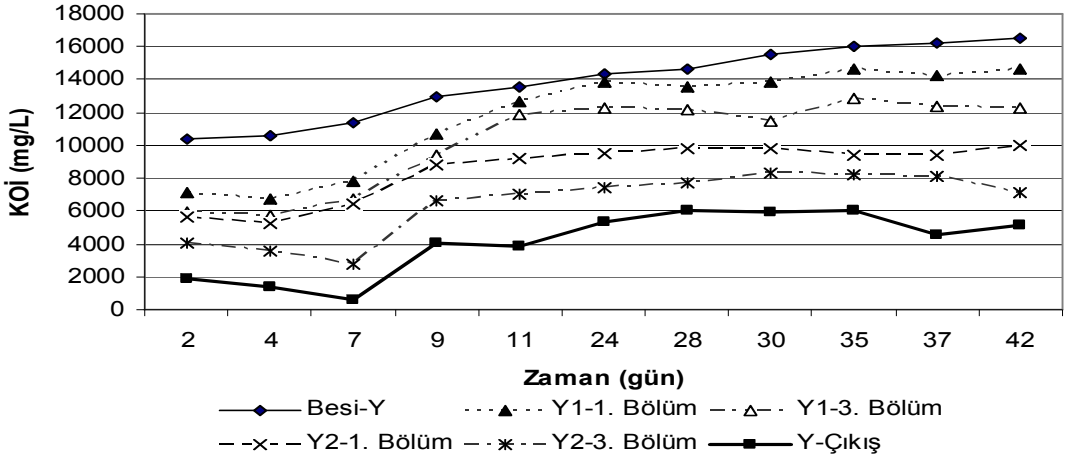
### 4.2.1. KOİ giderimi ( YAS için 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün, PAS için 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)

Organik yükleme değeri, gelen atıksuyun yüksek KOİ içermesi nedeniyle YAS için 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün, PAS için 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün olarak uygulanmıştır.

Şekil 4.9 (a)' da ve (b)' de farklı zamanlarda alınan YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın KOİ değişimi görülmektedir.




(a)

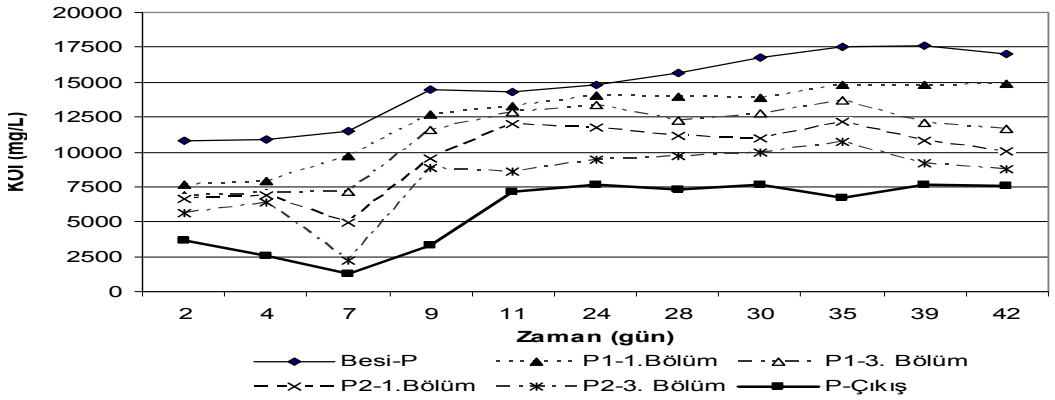



(b)

Şekil 4.9 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi

Aynı organik yükleme değerlerinde çalışılmasına rağmen farklı zamanlarda kullanılan atıksu için arıtım verimleri birbirinden farklıdır. Verimlerin birbirinden farklı olmasının nedeni gelen atıksuyun KOİ içeriğinin değişken olmasındandır. Şekil 4.9 (a)' da YAS ile beslenen birinci kademe HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 6000-10000 mg/L iken %40-45 KOİ giderimi sağlanmıştır. İkinci kademe HÇYR çıkışındaki KOİ konsantrasyonu 4000-6000 mg/L iken, ikinci kademe giriş KOİ konsantrasyonunun %30-35' i giderilmiştir. Sonuç olarak 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, İki kademeli HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 4000 mg/L' ye kadar inmiş ve toplamda %70-80 KOİ giderimi sağlanmıştır. Atıksuyun yüksek KOİ konsantrasyonuna bağlı olarak organik yükleme değerlerinde düşüş ya da artış olmuştur. Düşüş ya da artış olmasına rağmen giderim oranın sabit olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.9 (b)' de YAS ile beslenen birinci kademe HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 6000-10000 mg/L iken %30-36 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır. İkinci kademe HÇYR çıkışındaki KOİ konsantrasyonu 4000-6000 mg/L iken, ikinci kademe giriş KOİ konsantrasyonunun %30-32 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır. Sonuç olarak 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, İki kademeli HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 4000 mg/L' ye kadar inmiş ve toplamda %60-68 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır. 24. günden sonra bu oranın sabit olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.10' da PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın KOİ değişimi görülmektedir.



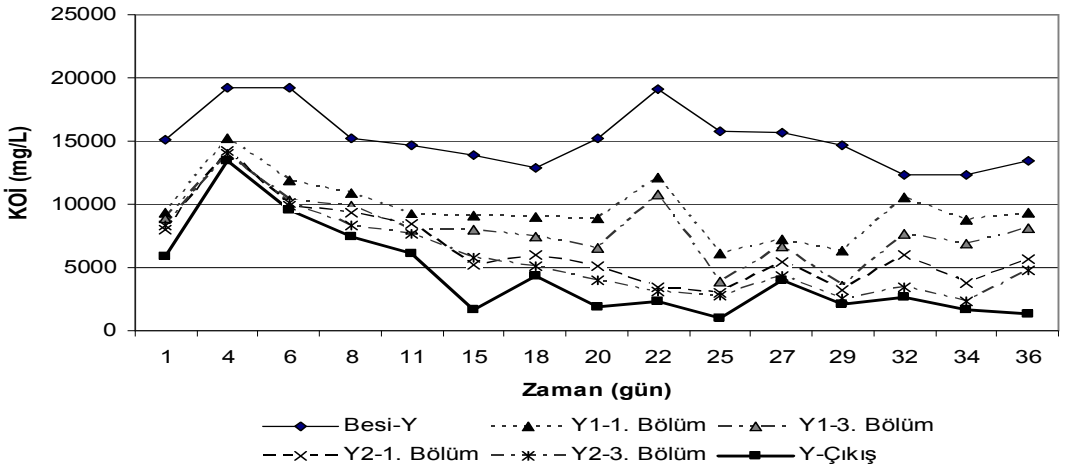

Şekil 4.10 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi

PAS ile beslenen birinci kademe HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 10000-13000 mg/L iken %25-30 KOİ giderimi sağlanmıştır. İkinci kademe HÇYR çıkışındaki KOİ konsantrasyonu 3000-7500 mg/L iken, ikinci kademe giriş KOİ konsantrasyonunun %40-45' ı giderilmiştir. Sonuç olarak 2.875–4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, toplamda %65-75 KOİ giderimi sağlanmıştır.

### 4.2.2. KOİ giderimi ( YAS için 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3 – 4.375 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)

Organik yükleme değeri, gelen atıksuyun yüksek KOİ içermesi nedeniyle YAS için 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3 – 4.375 g KOİ/L.gün olarak uygulanmıştır.

Şekil 4.11' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25–4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın KOİ değişimi görülmektedir.

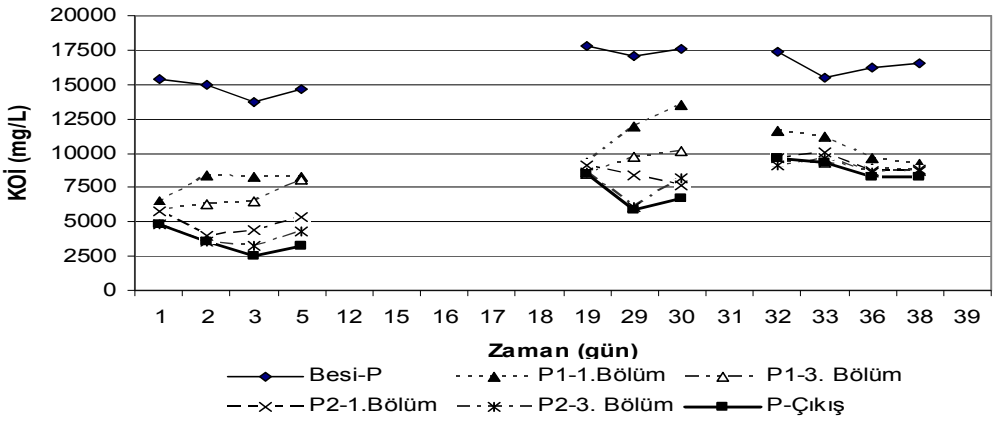



Şekil 4.11 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi

YAS ile beslenen birinci kademe HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 5000-10000 mg/L iken %35-38 KOİ giderimi sağlanmıştır. İkinci kademe HÇYR çıkışındaki KOİ konsantrasyonu 3000-5000 mg/L iken, ikinci kademe giriş KOİ konsantrasyonunun %30-32' si giderilmiştir. 18. güne kadar KOİ konsantrasyonlarında dalgalanmalar gözlenmiştir. Bu dalgalanmaların sebebi; yağ içeriğinin yüksek oluşu ve uçucu yağ asitlerinin birikmesindendir. 18. günden sonra çıkış KOİ konsantrasyon değerleri dengeye ulaşmıştır.

Sonuç olarak 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, İki kademeli HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 4000 mg/L' ye kadar inmiş ve toplamda %65-70 KOİ giderimi sağlanmıştır.

Şekil 4.12' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın KOİ değişimi görülmektedir.



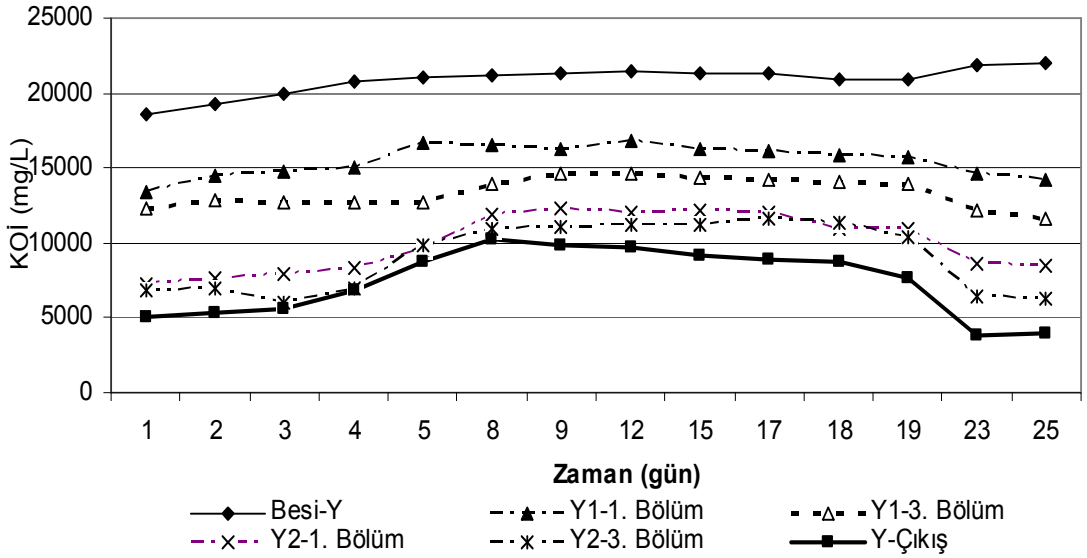

Şekil 4.12 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi

PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de, çıkış KOİ konsantrasyonu 8000-10000 mg/L iken %30-33 KOİ giderimi sağlanmıştır. İkinci kademe HÇYR çıkışındaki KOİ konsantrasyonu 3000-7000 mg/L iken, ikinci kademe giriş KOİ konsantrasyonunun %35-37 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır. Sonuç olarak 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, iki kademeli HÇYR' de toplamda %65-70 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır.

### 4.2.3. KOİ giderimi ( YAS için 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)

Organik yükleme değeri, gelen atıksuyun yüksek KOİ içermesi nedeniyle YAS için 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün olarak uygulanmıştır.

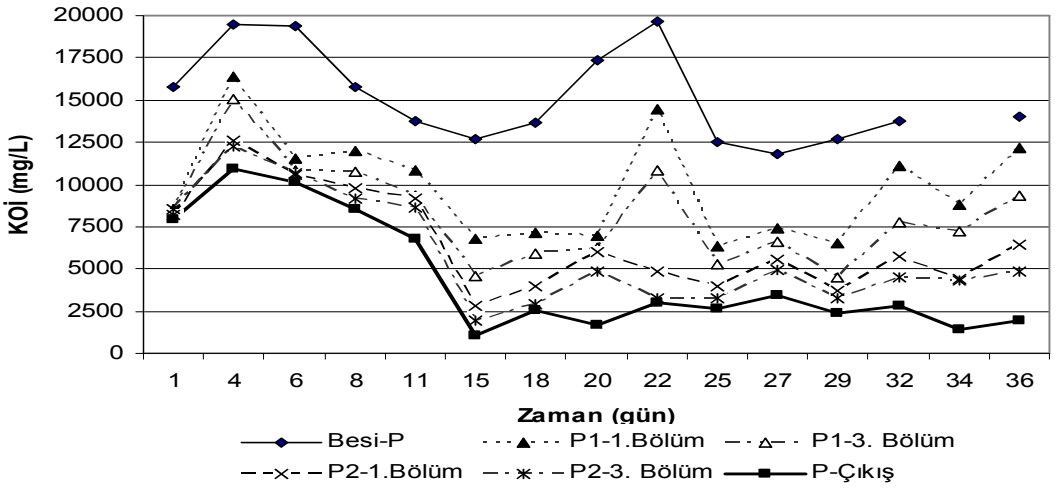
Şekil 4.13' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın KOİ değişimi görülmektedir.




Şekil 4.13 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi

YAS ile beslenen birinci kademe HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 12000-14000 mg/L iken, %25-30 KOİ giderimi sağlanmıştır. İkinci kademe HÇYR çıkışındaki KOİ konsantrasyonu 7000-9000 mg/L iken, ikinci kademe giriş KOİ konsantrasyonunun %33-35' i giderilmiştir. Sonuç olarak 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, çıkış KOİ konsantrasyonu 6000 mg/L' ye kadar inmiş ve toplamda %58-65 KOİ giderimi sağlanmıştır. Atıksuyun yüksek KOİ konsantrasyonuna bağlı olarak organik yükleme değerlerinde düşüş ya da artış olmuştur. Düşüş ya da artış olmasına rağmen giderim oranın sabit olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.14' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın KOİ değişimi görülmektedir.



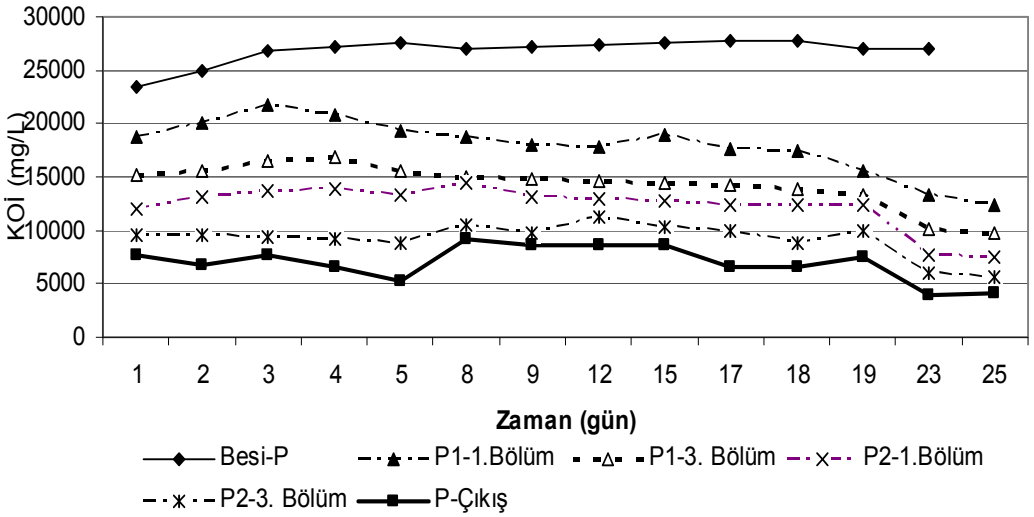

Şekil 4.14 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi

PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de, ilk 22 günlük süre adaptasyon süresi olarak değerlendirilmiştir. Bu süre içerisinde gelen atıksuyun yüksek KOİ içermesi nedeniyle giriş ve çıkışlarda dalgalanmalar görülmektedir. Birinci kademe HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 5000-8000 mg/L iken, %40-45 KOİ giderimi sağlanmıştır. İkinci kademe HÇYR' de, ikinci kademe giriş KOİ konsantrasyonunun %23-25' i giderilmiştir. Sonuç olarak 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, iki kademeli HÇYR' de toplamda %63-70 KOİ giderimi sağlanmıştır.

### 4.2.4. KOİ giderimi (PAS için 6 – 6.75 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)

Organik yükleme değeri, gelen atıksuyun yüksek KOİ içermesi nedeniyle PAS için 6 – 6.75 g KOİ/L.gün olarak uygulanmıştır.

Şekil 4.15' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın KOİ değişimi görülmektedir.




Şekil 4.15 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6– 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme KOİ değişimi

PAS ile beslenen birinci kademe HÇYR çıkış KOİ konsantrasyonu 13000-16000 mg/L iken, %28-32 KOİ giderimi sağlanmıştır. İkinci kademe HÇYR çıkışındaki KOİ konsantrasyonu 6000-9000 mg/L iken, ikinci kademe giriş KOİ konsantrasyonunun %30-33' ü giderilmiştir. Sonuç olarak 6 – 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, iki kademeli HÇYR' de çıkış KOİ konsantrasyonu 6000 mg/L' ye kadar inmiş ve toplamda %58-65 KOİ giderimi sağlanmıştır. Atıksuyun yüksek KOİ konsantrasyonu nedeniyle organik yükleme değerlerinde düşüş ya da artış olmasına rağmen bu oranın sabit olduğu gözlenmiştir.

Arıtım çalışmaları boyunca yapılan çalışmalarda; birinci kademe HÇYR çıkış KOİ verimi, ikinci kademe HÇYR çıkış KOİ verimi ve toplam KOİ verimi Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1 Birinci kademe HÇYR çıkış KOİ verimi, ikinci kademe HÇYR çıkış KOİ verimi ve toplam KOİ verimi

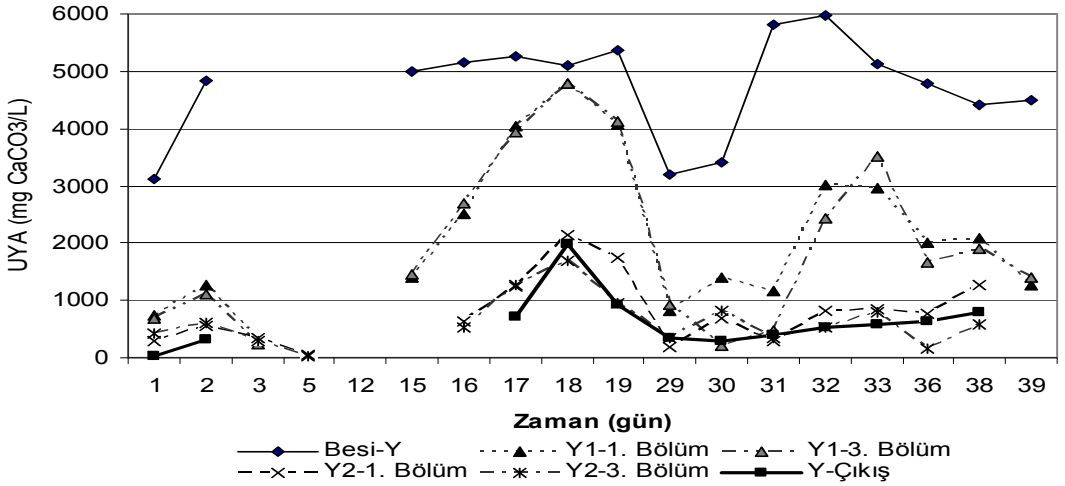
| Organik yükleme değeri (g KOİ/L.gün) | KOİ Giderim Verimi (%) | | |
|---|---|---|---|
| | 1. kademe HÇYR | 2. kademe HÇYR | Toplam |
| YAS: 2.75–4.25 | 40 – 45 | 30 – 35 | 70 – 80 |
| | 30 – 36 | 30 – 32 | 60 – 68 |
| PAS: 2.875–4.375 | 25 – 30 | 40 – 45 | 65 – 75 |
| YAS: 3.25–4.5 | 35 – 38 | 30 – 32 | 65 – 70 |
| PAS: 3–4.375 | 30 – 33 | 35 – 37 | 65 – 70 |
| YAS: 4.5–5.5 | 25 – 30 | 33 – 35 | 58 – 65 |
| PAS: 3.25–4.75 | 40 –45 | 23 – 25 | 63 – 70 |
| PAS: 6–6.75 | 28– 32 | 30– 33 | 58 – 65 |

Tablo 4.1' e göre organik yükleme değeri, YAS için 2.75-4.25 g KOİ/L.gün, PAS için 2.875-4.375 g KOİ/L.gün olan atıksuların arıtım verimi diğer organik yükleme değerlerine göre daha yüksek gerçekleşmiştir. Toplam çıkış KOİ verimleri YAS için %70–80 ve PAS için %65-75 arasındadır.

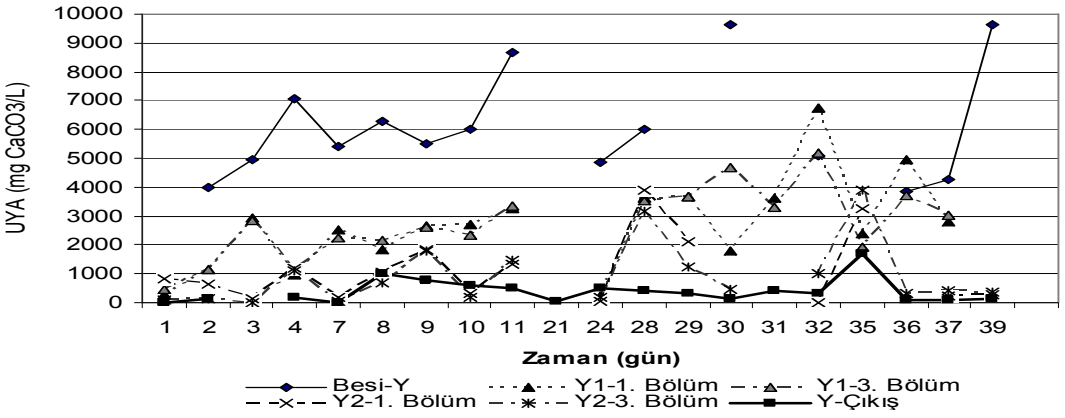
PAS ve YAS ile beslenen İki Kademeli HÇYR karşılaştırıldığında, YAS' ın KOİ giderim veriminin daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun en önemli nedeni PAS' ın yüksek miktardaki laktoz ve yağ içeriğine sahip olmasına bağlanabilir. PAS' ın organik bileşimi olan laktozun, asidojenik faz boyunca anaerobik fermantasyonlar içinde bozunması ve karbondioksit üretimi sağlarken düşük metan oluşumuna sebep olması verimi azaltmaktadır. Ayrıca asidonejik faz boyunca laktozun bozulması sonucu oluşan laktik asit birikebilmekte ve buna bağlı olarak pH değeri azalmaktadır.

### 4.2.5. Asitlenme ve pH/$HCO_3$/UYA dengesi ( YAS için 2.75 –4.25 g KOİ/L.gün, PAS için 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)

Şekil 4.16 (a)' da ve (b)' de farklı zamanlarda alınan YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın UYA değişimi görülmektedir.




(a)



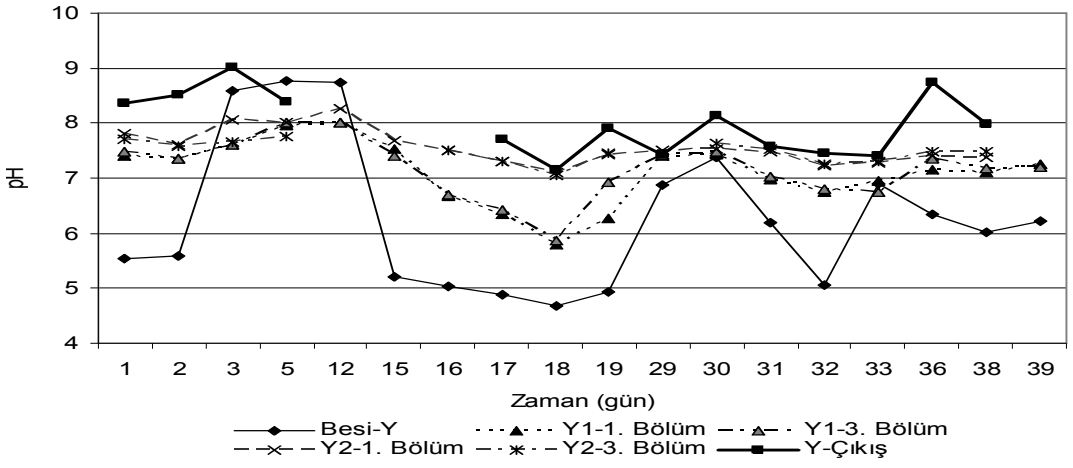

(b)

Şekil 4.16 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi

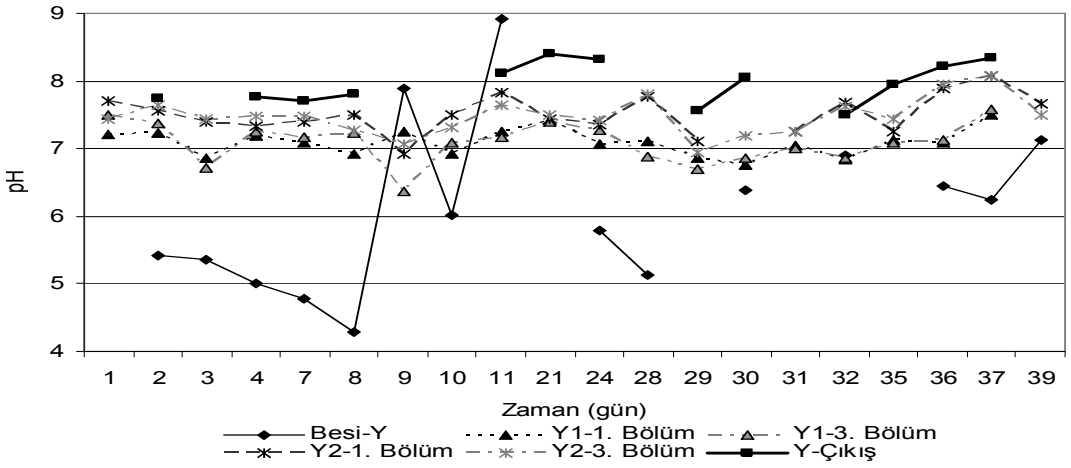
Aynı organik yükleme değerlerinde çalışılmasına rağmen farklı zamanlarda kullanılan atıksu için arıtım verimleri birbirinden farklıdır. Verimlerin birbirinden farklı olmasının nedeni gelen atıksuyun KOİ içeriğinin değişken olmasındandır.

Şekil 4.16 (a)' da YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, birinci kademede 19. günün sonunda UYA konsantrasyonunun 4000 mg/L' den yavaş yavaş 1000 mg/L'ye düştüğü daha sonra 1300 mg/L' de dengeye ulaştığı gözlenmiştir. Birinci kademe HÇYR' de YAS' dan gelen UYA' nın % 50-53'ü giderilmiştir. İkinci kademe HÇYR' de UYA miktarı 800 mg/L'ye kadar düşmüş ve ikinci kademe giriş UYA' nın % 30-32' si giderilmiştir. Sonuç olarak 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, İki kademeli HÇYR' de, seyreltilmiş besi çözeltisinin ortalama UYA giderim verimi %80-85 olarak elde edilmiştir. Şekil 4.16 (b)' de YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, atıksuyun yüksek KOİ değerine ve seyrelme oranına bağlı olarak besi tanklarında uçucu yağ asidi konsantrasyonları dalgalıdır. Dalgalanmalara rağmen giriş uçucu yağ asit (UYA) konsantrasyonunun 8000-9000 mg/L'ye çıktığı durumlarda bile uçucu yağ asitlerinin hemen hemen hepsi tüketilerek konsantrasyonu 300-1000 mg/L'ye kadar ve inmiş ve sabit kalmıştır. Sonuç olarak 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme değerinde, İki kademeli HÇYR' de, seyreltilmiş besi çözeltisinin ortalama UYA giderim verimi %80-85 olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.17' de (a)' da ve (b)' de farklı zamanlarda alınan YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın pH değişimi görülmektedir.




(a)



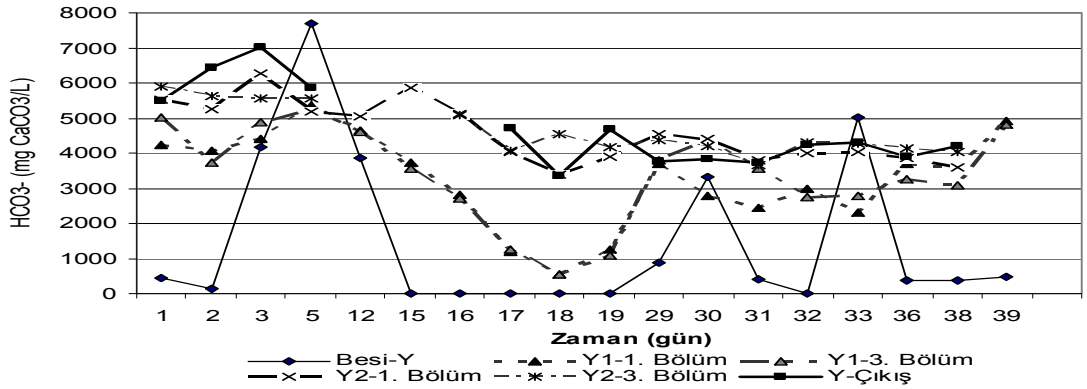

(b)

Şekil 4.17 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi

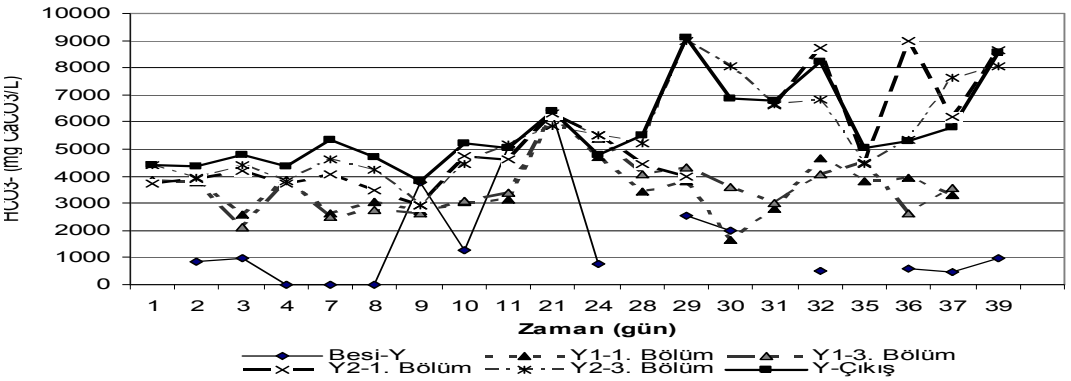
Şekil 4.17 (a)' da YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' deki ve besi tankındaki pH dalgalanmasının sebebi, besi çözeltisinin hazırlandığı zaman ile ölçüm yapılan zamanın farklılığından dolayıdır. Ayrıca gelen atıksuyun yüksek ve değişken KOİ içermesi de pH dalgalanmasına sebep olmaktadır.

Birinci kademe HÇYR' de pH değeri 6-8, ikinci kademe HÇYR' de pH değeri 7-8 arasında değişmektedir. Çıkış tankının atmosfere açılması ile açığa çıkan karbondioksit sayesinde çıkış pH değeri yaklaşık 8.8' e yükselmiştir. Gaz fazında birinci ve ikinci kademe HÇYR' de $\%CO_2$ oranının %50 den fazla olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.17 (b)' de YAS ile beslenen birinci kademe HÇYR' de pH değeri 6.5-7.5, ikinci kademe HÇYR' de pH değeri 7-8 arasında değişmektedir. Çıkış tankının atmosfere açılması ile açığa çıkan karbondioksit sayesinde çıkış pH değeri yaklaşık 8.4' e yükselmiştir. Gaz fazında birinci ve ikinci kademede $\%CO_2$ oranının %50 den fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.18' de (a)' da ve (b)' de farklı zamanlarda alınan YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın $HCO_3^-$ değişimi görülmektedir.




(a)

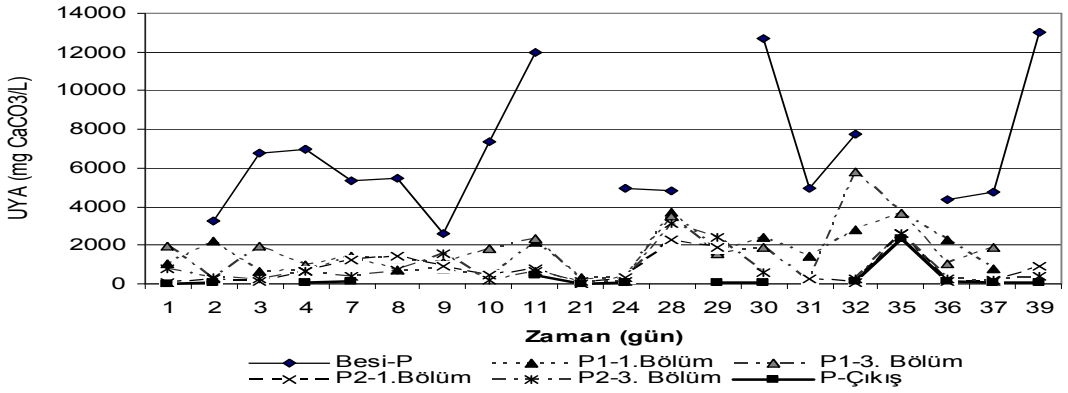



(b)

Şekil 4.18 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.75 – 4.25 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi

Şekil 4.18 (a)' da YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' deki ve besi tankındaki $HCO_3^-$ dalgalanmasının sebebi, besi çözeltisinin hazırlandığı zaman ile ölçüm yapılan zamanın farklılığından dolayıdır. İlk 5 güne kadar çıkış $HCO_3^-$ konsantrasyonun 7000 mg/L' ye çıkmasına rağmen, 5. günden sonra sistemde uçucu yağ asitlerinin birikmesi ile çıkış $HCO_3^-$ konsantrasyonu 4000-5000 mg/L' ye kadar inmiştir. 30. günden sonra sistem dengeye gelerek çıkış $HCO_3^-$ konsantrasyonu 4000-5000 mg/L arasında değişmiştir. Şekil 4.18 (b)' de YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de 24. güne kadar çıkış çıkış $HCO_3^-$ konsantrasyonu 4000-6000 mg/L arsında iken, 24. günden sonra 7000-9000 mg/L' ye kadar yükseldiği gözlenmiştir. Bu da sistemin dengede ve verimli çalıştığını göstermektedir.

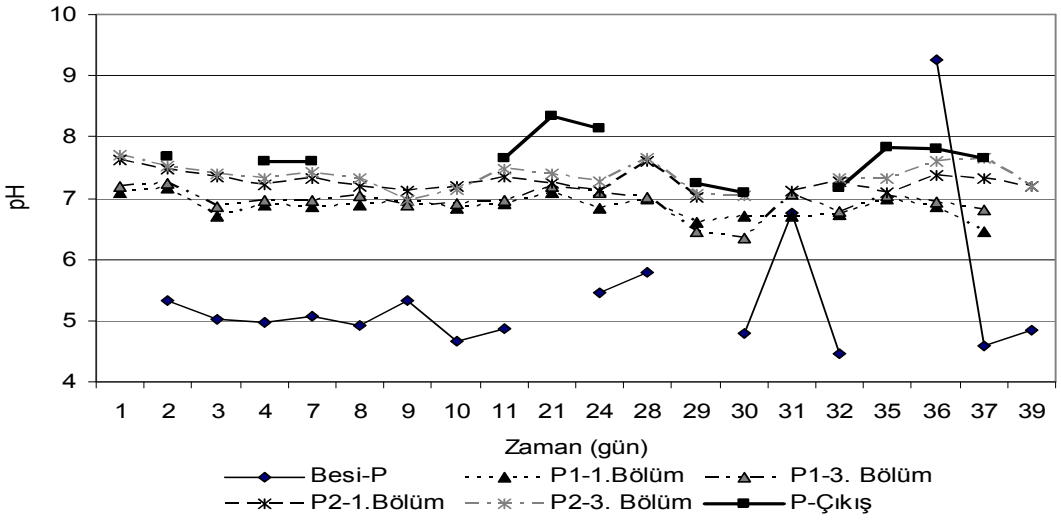
Şekil 4.19 da PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın UYA değişimi görülmektedir.




Şekil 4.19 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi

PAS' ın yüksek miktarda uçucu yağ asidi içermesine, seyrelme oranına ve giriş atıksuyun yüksek KOİ içermesine rağmen deney süresince besi tankında oluşan uçucu yağ asitlerinin hemen hemen hepsi birinci ve ikinci reaktörlerde tüketilmiştir. İki kademeli HÇYR' de, 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yüklemede, seyreltilmiş besi çözeltisinin ortalama UYA giderim verimi %78-80 olarak saptanmıştır.

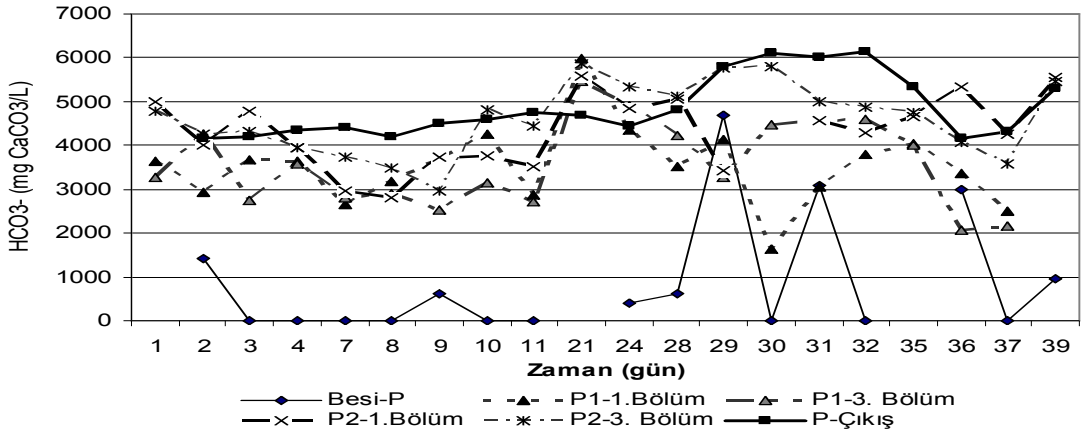
Şekil 4.20' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın pH değişimi görülmektedir.




Şekil 4.20 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi

PAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, birinci kademede pH değeri 6.8-7.2, ikinci kademede pH değeri 7-8 arasında değişmektedir. Çıkış tankının atmosfere açılması ile açığa çıkan karbondioksit sayesinde çıkış pH değeri yaklaşık 8.4' e yükselmiştir. Gaz fazında birinci ve ikinci kademe HÇYR' de $\%CO_2$ oranının %50 den fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.21' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın $HCO_3^-$ değişimi görülmektedir.

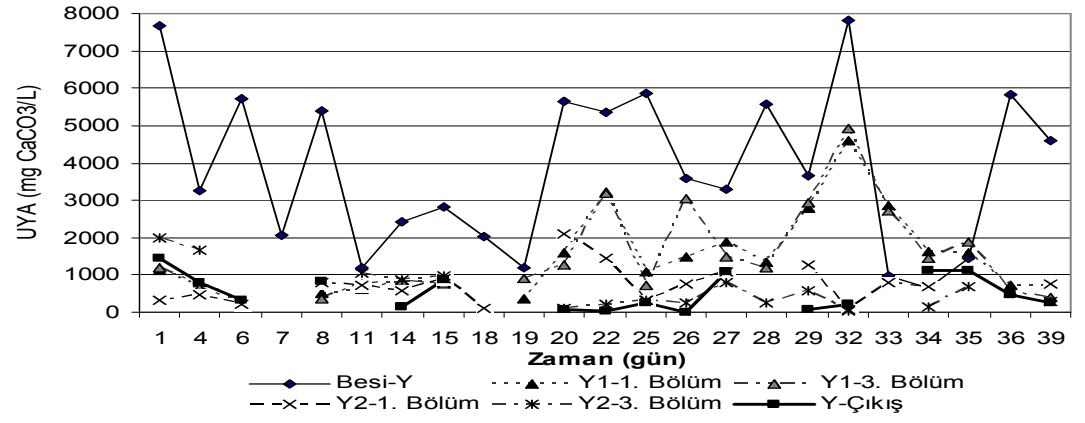



Şekil 4.21 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi

PAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de ve çıkış suyunda $HCO_3^-$ seviyesi artmıştır. İlk 28 günlük süre içerisinde çıkış $HCO_3^-$ konsantrasyonu 5000 mg/L'ye kadar ulaşmış, 28. günden sonra 6000 mg/L'ye çıkmış ve 5000-6000 mg/L de sabit kalmıştır.

### 4.2.6. Asitlenme ve pH/ $HCO_3$/UYA dengesi ( YAS için 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3 – 4.375 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)

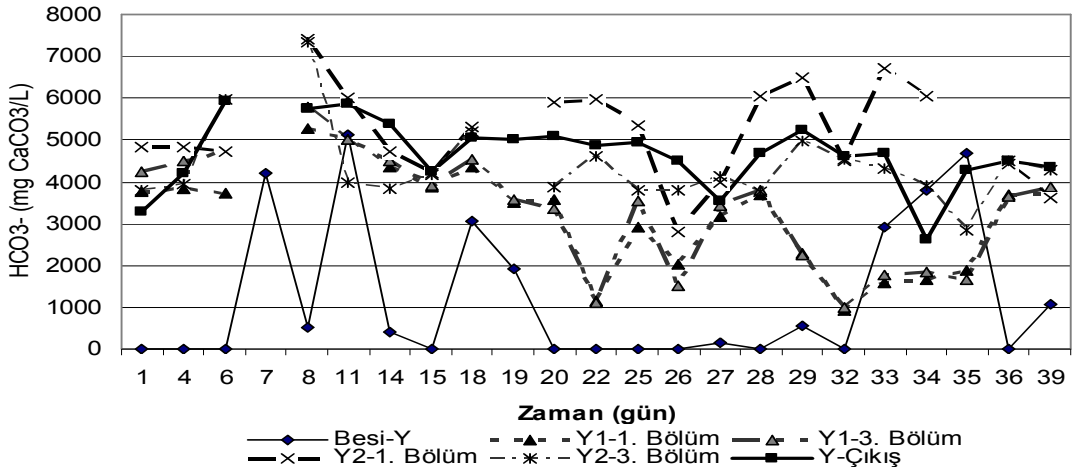
Şekil 4.22' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25–4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın UYA değişimi görülmektedir.




Şekil 4.22 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi

YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de seyrelme oranına ve giriş atıksuyun yüksek KOİ değerine bağlı olarak sistemin adaptasyon süresi uzamış ve dalgalanmalar gözlenmiştir. Dalgalanmalara rağmen giriş UYA konsantrasyonunun 7000-8000 mg/L'ye çıktığı durumlarda bile uçucu yağ asitlerinin hemen hemen hepsi tüketilerek konsantrasyonu 1000-1200 mg/L'ye kadar ve inmiş ve sabit kalmıştır. İki kademeli HÇYR' de, 3.25–4.5 g KOİ/L.gün organik yüklemede, seyreltilmiş besi çözeltisinin ortalama UYA giderim verimi %80-82 olarak elde edilmiştir.

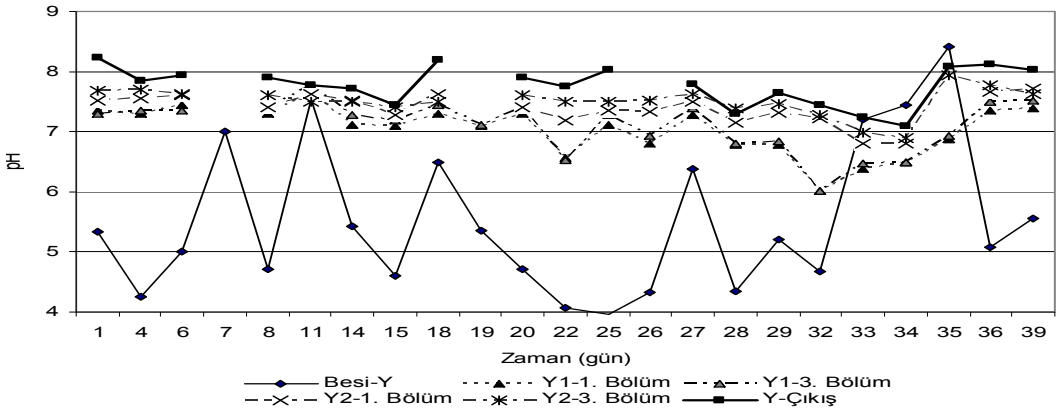
Şekil 4.23' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25–4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın $HCO_3^-$ değişimi görülmektedir.




Şekil 4.23 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi

YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' deki ve besi tankındaki $HCO_3^-$ dalgalanmasının sebebi, besi çözeltisinin hazırlandığı zaman ile ölçüm yapılan zamanın farklılığından dolayıdır. Sistemin giriş atıksuya karşı adaptasyon döneminin kısa sürdüğü ve çıkış $HCO_3^-$ konsantrasyonunun 5000-5500 mg/L arasında değiştiği gözlenmiştir.

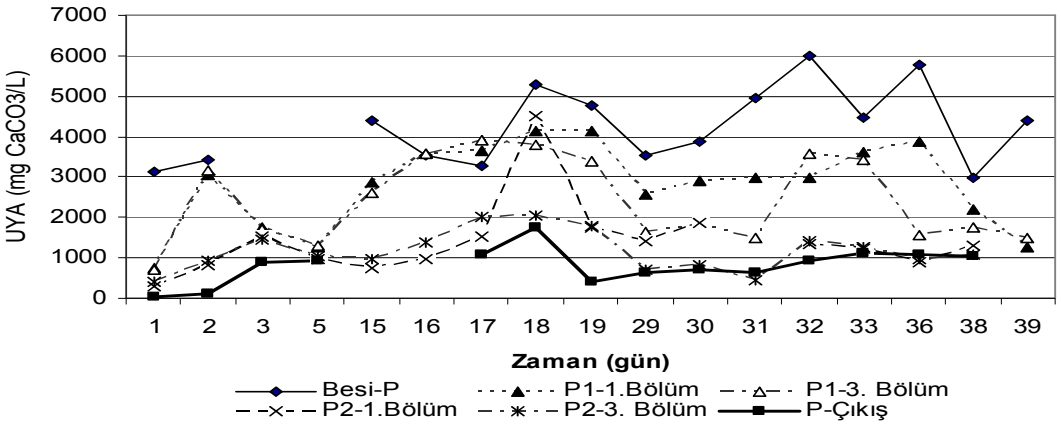
Şekil 4.24' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25–4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın pH değişimi görülmektedir.




Şekil 4.24 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.5 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi

YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, birinci kademede pH değeri 6-7.5, ikinci kademede pH değeri 7-8 arasında değişmektedir. Çıkış tankının atmosfere açılması ile açığa çıkan karbondioksit sayesinde çıkış pH değeri yaklaşık 8.2' ye yükselmiştir. Gaz fazında birinci ve ikinci kademede $\%CO_2$ oranının %50 den fazla olduğu tespit edilmiştir.

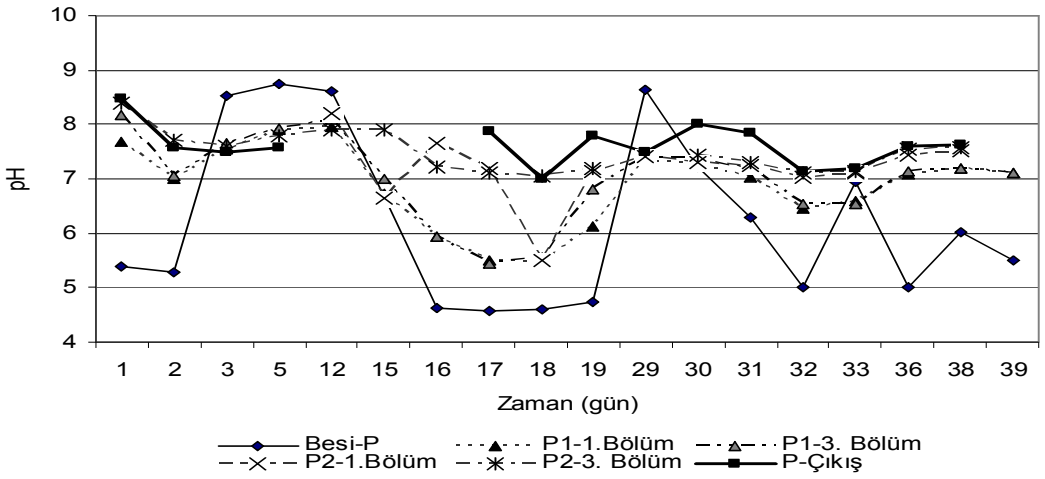
Şekil 4.25' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3–4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın UYA değişimi görülmektedir.




Şekil 4.25 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi

PAS'ın yüksek miktarda UYA içermesi ve deney süresince giriş atıksuyun yüksek KOİ içermesi nedeniyle reaktör çıkışlarında dalgalanmalar gözlenmiştir. 19. günden sonra giriş UYA konsantrasyonunun 6000 mg/L' ye kadar ulaştığı buna karşın çıkış UYA konsantrasyonunun da 800 mg/L' ye kadar indiği ve 1000 mg/L' de sabit kaldığı gözlenmiştir. İki kademeli HÇYR' de, 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yüklemede, seyreltilmiş besi çözeltisinin ortalama UYA giderim verimi %80-83 olarak elde edilmiştir.

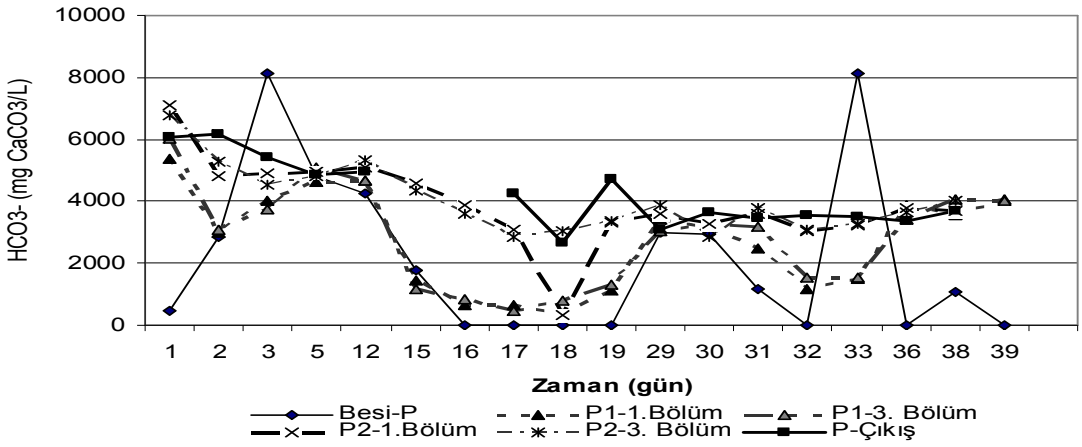
Şekil 4.26' da PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın pH değişimi görülmektedir.




Şekil 4.26 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 2.875 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi

PAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, birinci kademede pH değeri 5.5-8, ikinci kademede pH değeri 5.5-8.1 arasında değişmektedir. Çıkış tankının atmosfere açılması ile açığa çıkan karbondioksit sayesinde çıkış pH değeri yaklaşık 8.5' a yükselmiştir. Gaz fazında birinci ve ikinci kademe HÇYR' de $\%CO_2$ oranının %50 den fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.27' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın $HCO_3^-$ değişimi görülmektedir.

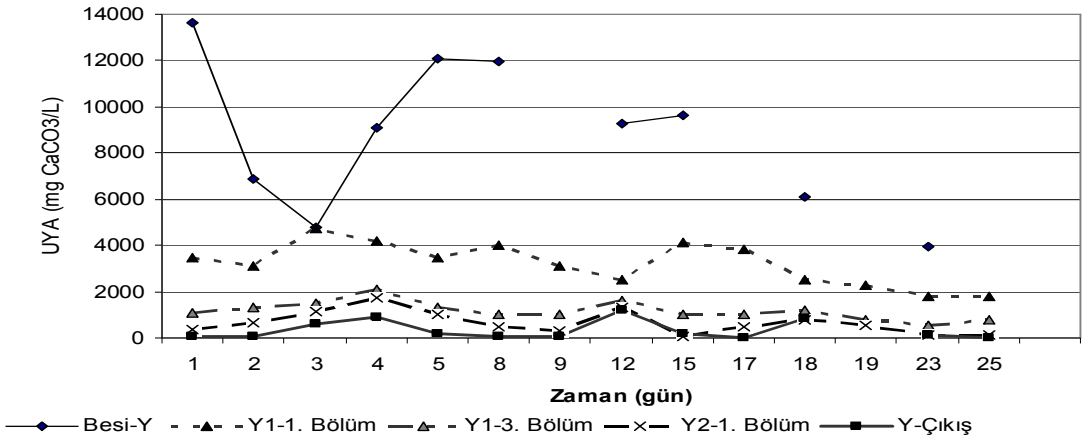



Şekil 4.27 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3 – 4.375 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi

PAS' ın yüksek miktarda laktoz içermesi nedeniyle iki kademeli HÇYR' de UYA birikmesi olmuş ve çıkış $HCO_3^-$ konsantrasyonu 4000-4500 mg/L arasında değişmiştir.

### 4.2.7. Asitlenme ve pH/ $HCO_3$/UYA Dengesi ( YAS için 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün, PAS için 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)

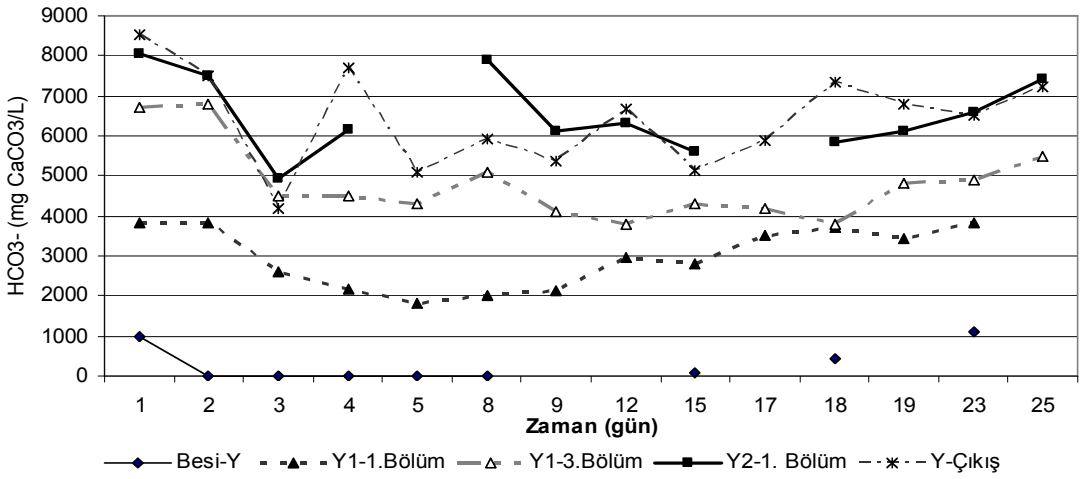
Şekil 4.28' de YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5–5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın UYA değişimi görülmektedir.




Şekil 4.28 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi

YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de seyrelme oranına ve giriş atıksuyun KOİ konsantrasyonuna bağlı olarak, giriş UYA konsantrasyonunda dalgalanmalar gözlenmiştir. Dalgalanmaların olmasına rağmen reaktörler iyi bir şekilde çalışmış uçucu yağ asitlerin hemen hemen tamamı tüketilmiştir. Birinci kademe HÇYR' de, YAS' dan gelen UYA'nin % 50-52' i giderilmiştir. İkinci kademe HÇYR' de ise, ikinci kademe giriş UYA'nin %40-43'i giderilmiştir. UYA konsantrasyonu 800-1000 mg/L' ye kadar düşmüş ve sabitlenmiştir. İki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yüklemede, seyreltilmiş besi çözeltisinin ortalama UYA giderim verimi %90-95 olarak elde edilmiştir.

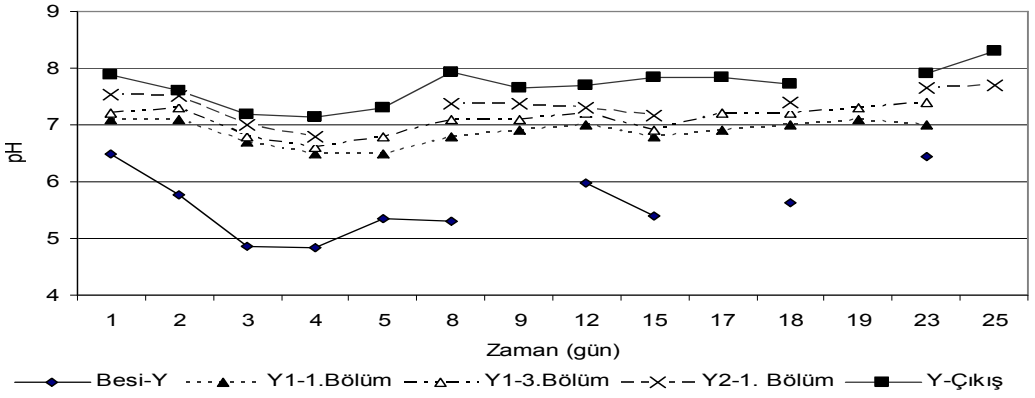
Şekil 4.29' da YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5–5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın $HCO_3^-$ değişimi görülmektedir.




Şekil 4.29 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3$ değişimi

YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, birinci kademe çıkış suyundaki $HCO_3^-$ konsantrasyonu 2000-4000 mg/L' ye çıkmış, ikinci kademede ise bu değer 8000 mg/L ye kadar ulaşmıştır. Giriş suyunun yüksek KOİ içermesinden dolayı bu değer bazı günlerde düşmüştür. Fakat sistem kendini dengeleyerek tekrar 6000-8000 mg/L arasında değişmiştir.

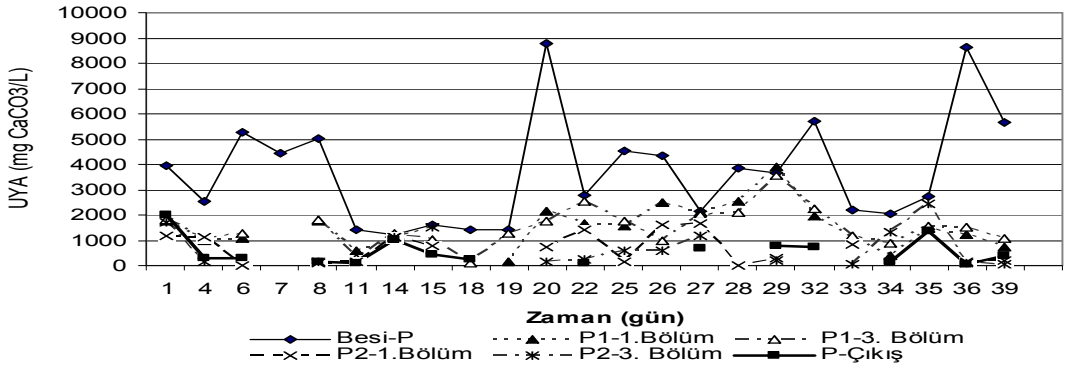
Şekil 4.30' da YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5–5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın pH değişimi görülmektedir.




Şekil 4.30 YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 4.5 – 5.5 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi

YAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' deki ve besi tankındaki pH dalgalanmasının sebebi, besi çözeltisinin hazırlandığı zaman ile ölçüm yapılan zamanın farklılığından dolayıdır. Birinci kademe HÇYR' de pH değeri 6.5-7.2, ikinci kademe HÇYR' de ise pH değeri 7-8 arasında değişmektedir. Çıkış tankının atmosfere açılması ile açığa çıkan karbondioksit sayesinde çıkış pH değeri yaklaşık 8.3' e yükselmiştir. Gaz fazında birinci ve ikinci kademede $\%CO_2$ oranının %50 den fazla olduğu tespit edilmiştir.

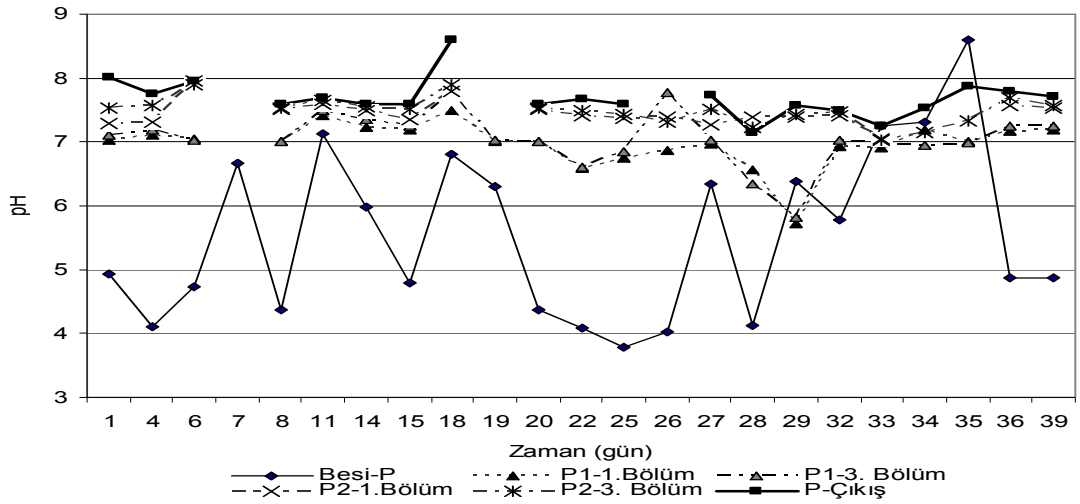
Şekil 4.31' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25–4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın UYA değişimi görülmektedir.




Şekil 4.31 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi

PAS' ın yüksek miktarda UYA içeriği ve deney süresince giriş atıksuyun yüksek KOİ değeri nedeniyle reaktör çıkışlarında dalgalanmalar gözlenmiştir. Dalgalanmalara rağmen giriş UYA konsantrasyonunun 8000-9000 mg/L'ye çıktığı durumlarda bile UYA' ların hemen hemen hepsi tüketilerek konsantrasyonu 300-1000 mg/L'ye kadar ve inmiş ve sabit kalmıştır. İki kademeli HÇYR' de, 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yüklemede,seyreltilmiş besi çözeltisinin ortalama UYA giderim verimi %80-82 olarak elde edilmiştir.

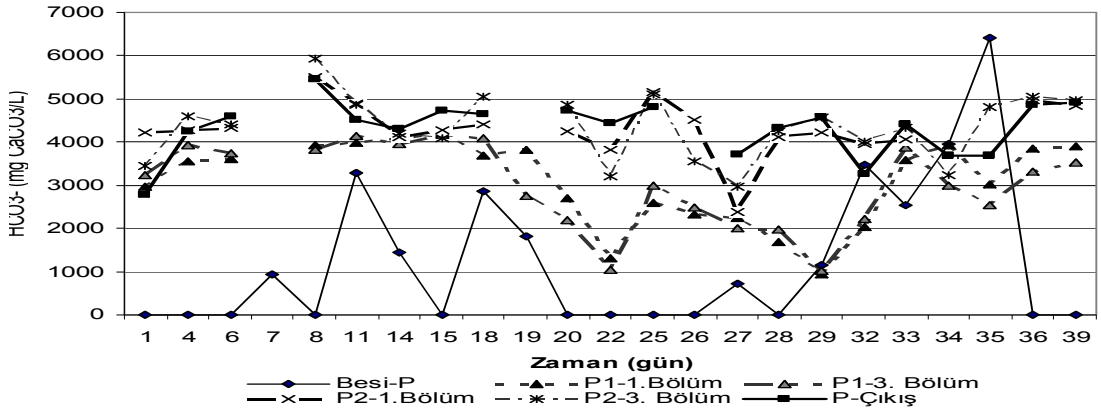
Şekil 4.32' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25–4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın pH değişimi görülmektedir.




Şekil 4.32 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi

PAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, birinci kademede pH değeri 6.5-7.8, ikinci kademede pH değeri 7-8 arasında değişmektedir. Çıkış tankının atmosfere açılması ile açığa çıkan karbondioksit sayesinde çıkış pH değeri yaklaşık 8.5' e yükselmiştir. Gaz fazında birinci ve ikinci kademede $\%CO_2$ oranının %50 den fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.33' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın $HCO_3^-$ değişimi görülmektedir.

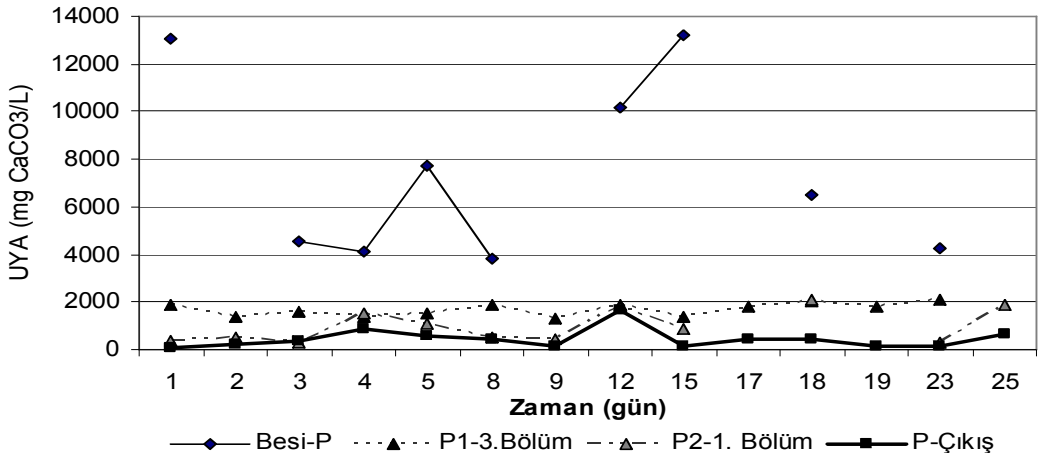



Şekil 4.33 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 3.25 – 4.75 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi

PAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, dalgalanmalara rağmen İkinci kademe HÇYR' de, $HCO_3^-$ konsantrasyonu 4000-5000 mg/L' ye kadar yükselmiş ve sabit kalmıştır.

### 4.2.8. Asitlenme ve pH/ $HCO_3$/UYA Dengesi (PAS için 6 – 6.75 g KOİ/L.gün yükleme hızlarında)

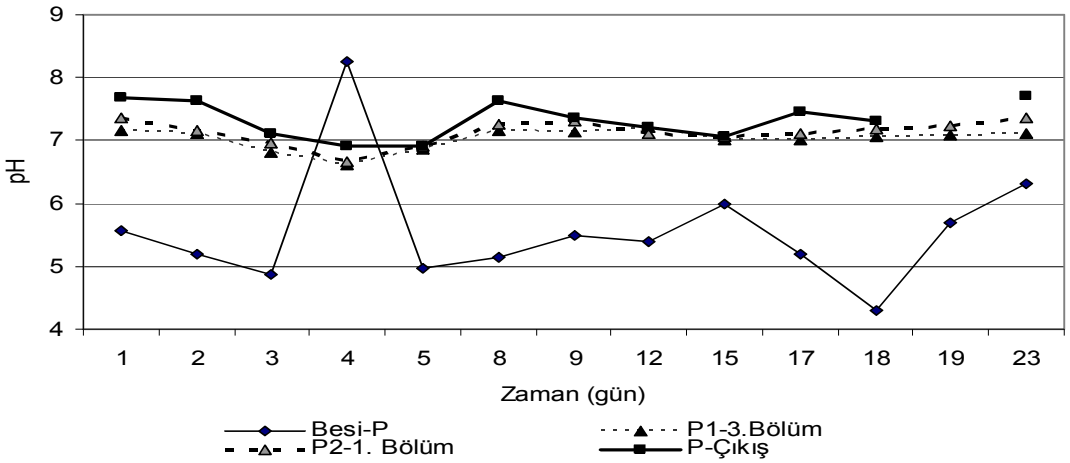
Şekil 4.34' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6–6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın UYA değişimi görülmektedir.




Şekil 4.34 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6 – 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme UYA değişimi

PAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de seyrelme oranına ve giriş atıksuyun KOİ konsantrasyonuna bağlı olarak, giriş UYA konsantrasyonunda dalgalanmalar gözlenmiştir. Dalgalanmaların olmasına rağmen sistem iyi bir şekilde çalışmış uçucu yağ asitlerin hemen hemen tamamı tüketilmiştir. İkinci HÇYR' de ise UYA hemen hemen hepsi tüketilmiştir. UYA konsantrasyonu 200-1200 mg/L' ye kadar düşmüş ve sabitlenmiştir. İki kademeli HÇYR' de, 6 – 6.75 g KOİ/L.gün organik yüklemede,seyreltilmiş besi çözeltisinin ortalama UYA giderim verimi %85-87 olarak elde edilmiştir.

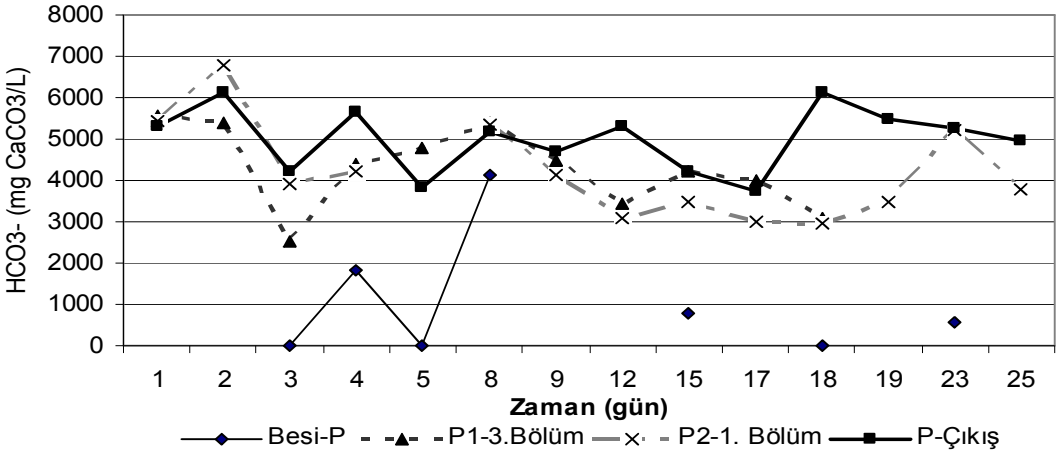
Şekil 4.35' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6–6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın pH değişimi görülmektedir.




Şekil 4.35 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6– 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme pH değişimi

PAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, birinci kademede pH değeri 6.8-7.2, ikinci kademede pH değeri 6.7-7.2 arasında değişmektedir. Çıkış tankının atmosfere açılması ile açığa çıkan karbondioksit sayesinde çıkış pH değeri yaklaşık 7.8' e yükselmiştir. Gaz fazında birinci ve ikinci kademede $\%CO_2$ oranının %50 den fazla olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.36' de PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6 – 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme uygulanmasına karşın $HCO_3^-$ değişimi görülmektedir.




Şekil 4.36 PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR' de 6 – 6.75 g KOİ/L.gün organik yükleme $HCO_3^-$ değişimi

PAS ile beslenen İki kademeli HÇYR' de, birinci kademe çıkış suyundaki $HCO_3^-$ konsantrasyonu 3500-4500 mg/L' ye çıkmış, ikinci kademede ise bu değer 6000 mg/L ye kadar ulaşmıştır. Giriş suyunun yüksek KOİ içermesinden dolayı bu değer bazı günlerde düşmüş ve 5000-5500 mg/L de arasında değişmiştir.

Besi tankında hidroliz ve asitlenme reaksiyonları gerçekleşmiş ve bu tank ön asitlenme tankı işlevini görmüştür. Birinci ve ikinci kademe HÇYR' de seyrelme oranlarına bağlı olarak artan yüklemeler sonucunda besi tankından gelen farklı seviyelerdeki UYA'nın giderimi etkili biçimde gerçekleşerek dengelenmiştir. UYA' nın etkin giderimine bağlı olarak $HCO_3^-$ miktarı artmıştır.

Arıtım çalışmaları boyunca yapılan çalışmalarda; birinci ve ikinci kademe HÇYR' de pH ve UYA giderimleri ve toplam UYA giderimi Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.2 Birinci ve ikinci kademe HÇYR' de pH ve UYA giderimleri ve toplam UYA giderimi

| Organik yükleme değeri ( g KOİ/L.gün) | 1. kademe pH | 2. kademe pH | 1. kademe UYA giderimi (%) | 2. kademe UYA giderimi (%) | Toplam UYA giderimi (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| YAS: 2.75–4.25 | 6 – 8 | 7 – 8 | 50 – 53 | 30 – 32 | 80 – 85 |
| | 6.5 – 7.5 | 7 – 8 | 48 – 50 | 32 – 35 | 80 – 85 |
| PAS: 2.875–4.375 | 6.8 – 7.2 | 7 – 8 | 40 – 41 | 38 – 39 | 78 – 80 |
| YAS: 3.25–4.5 | 6 – 7.5 | 7 – 8 | 50 – 51 | 30 – 31 | 80 – 82 |
| PAS: 3–4.375 | 5.5 – 8 | 5.5 – 8.1 | 40 – 41 | 40 – 42 | 80 – 83 |
| YAS: 4.5–5.5 | 6.5 – 7.2 | 7 – 8 | 50 – 52 | 40 – 43 | 90 – 95 |
| PAS: 3.25–4.75 | 6.5 – 7.8 | 7– 8 | 40 – 41 | 40 – 41 | 80 – 82 |
| PAS: 6–6.75 | 6.8 – 7.2 | 6.7 – 7.2 | 55 – 56 | 30 – 31 | 85 - 87 |

Tablo 4.2' ye göre organik yükleme değeri, YAS için 4.5-5.5 g KOİ/L.gün, PAS için 6-6.75 g KOİ/L.gün olan atıksuların UYA giderim verimi diğer organik yükleme değerlerine göre daha yüksektir. Toplam UYA giderim verimleri sırasıyla; YAS için % 90 – 95 ve PAS için % 85 – 87 arasında gerçekleşmiştir.

Arıtım çalışmaları boyunca yapılan çalışmalarda; uygulanan organik yükleme değerlerine karşın toplam KOİ ve UYA giderimi Tablo 4.3 ‘ de verilmiştir.

Tablo 4.3 Organik yükleme değerlerine karşın toplam KOİ ve UYA giderimi

| (YAS) Organik yükleme değeri (g KOİ/L.gün) | (YAS) KOİ giderimi (%) | (YAS) UYA giderimi (%) |
|---|---|---|
| 2.75 – 4.25 | 70 – 80 | 80 – 85 |
| 3.25 – 4.5 | 65 – 70 | 80 – 82 |
| 4.5 – 5.5 | 58 – 65 | 90 – 95 |
| (PAS) Organik yükleme değeri (g KOİ/L.gün) | (PAS) KOİ giderimi (%) | (PAS) UYA giderimi (%) |
| 2.875–4.375 | 65 – 75 | 78 - 80 |
| 3 – 4.375 | 65 – 70 | 80 – 83 |
| 3.25 – 4.75 | 63 – 70 | 80 – 82 |
| 6 – 6.75 | 58 – 65 | 85 – 87 |

Organik yükleme değerinin, YAS için 2.75-4.25 g KOİ/L.gün, PAS için 2.875-4.375 g KOİ/L.gün olan atıksuların arıtım verimi diğer organik yükleme değerlerine göre daha yüksek gerçekleşmiştir. Toplam çıkış KOİ verimleri YAS için %70 – 80 ve PAS için %65 – 75 arasındadır. Organik yükleme değerinin, YAS için 4.5-5.5 g KOİ/L.gün, PAS için 6-6.75 g KOİ/L.gün olduğu zamanlarda; UYA giderim verimleri sırasıyla; % 90 – 95 ve % 85 – 87 arasında gerçekleşmiştir.

Arıtım çalışmaları boyunca yapılan çalışmalarda; çıkış suyu pH/$HCO_3$/UYA değerleri Tablo 4.4’ de verilmiştir.

Tablo 4.4 Çıkış suyu pH/$HCO_3$/UYA değerleri

| Organik yükleme değeri ( g KOİ/L.gün) | pH | $HCO_3^-$ (mg/L) | UYA (mg /L) |
|---|---|---|---|
| YAS: 2.75–4.25 | 8.8 | 4000 – 5000 | 1000 – 1300 |
| | 8.4 | 7000 – 9000 | 300 – 1000 |
| PAS: 2.875–4.375 | 8.4 | 5000 – 6000 | 200 – 2000 |
| YAS: 3.25–4.5 | 8.2 | 5000 – 5500 | 1000 – 1200 |
| PAS: 3–4.375 | 8.5 | 4000 – 4500 | 800 – 1000 |
| YAS: 4.5–5.5 | 8.3 | 6000 – 8000 | 800 – 1000 |
| PAS: 3.25–4.75 | 8.5 | 4000 – 0500 | 230 – 1000 |
| PAS: 6–6.75 | 7.8 | 5000 – 5500 | 200 – 1200 |

Tablo 4.4' e göre organik yükleme değerlerinin artmasıyla birlikte çıkış suyu UYA konsantrasyonu 200-1300 mg/L ve $HCO_3^-$ miktarı 4000-9000 mg/L arasında değişmiştir. pH değeri 8.8 'e kadar yükselmiştir. Bu durum çıkış suyunun yüksek alkalinite içeriğini göstermektedir. Çıkış suyu, bu özelliği ile geri devir için uygundur.

PAS ile beslenen İki Kademeli HÇYR ile YAS ile beslenen İki Kademeli HÇYR karşılaştırıldığında, YAS ile beslenen HÇYR' nin genel arıtım veriminin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada elde ettiğimiz sonuçları, literatürde yapılan çalışmalarla karşılaştırmak amacı ile Tablo 4.5' de süt endüstrisi atıksuları üzerine yapılan çalışmalar ve sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.5 Süt endüstrisi atıksuları üzerine yapılan çalışmalar ve sonuçları

| Atıksu tipi | Reaktör tipi | HBS | OYH (g KOİ / L gün) | Giriş KOİ (mg/L) | KOİ verimi (%) | Kaynak |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Seyreltik süt atıksuyu | Tam karışımlı + yukarı akışlı anaerobik filtre | 2 gün | 5 | 10000 | 90 | İnce ve arkadaşları (1998) |
| Seyreltik PAS | Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörü | 6 gün | 6.2 | 2500 | 98 | Gavala ve arkadaşları (1998) |
| Seyreltik süt atıksuyu | Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörü | 4.7 saat | 11 | 3000 | 70 | Uemura ve arkadaşları (2000) |
| Seyreltik süt atıksuyu | Kesikli ve sürekli sistem reaktörü | 12 saat | 30 – 82 | 15000–41000 | 28.8 | Han ve arkadaşları (2001) |
| Seyreltik süt atıksuyu | Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörü | 12 saat | 5.4 | 2400 | 85 | Ramasamy ve arkadaşları (2004) |
| | | 3 saat | 13.5 | | 86 | |
| Seyreltik PAS | Anaerobik sıralı kesikli reaktör | 2 gün | 1.6 – 2. 8 | 3200–5600 | 75 | Göblös ve arkadaşları (2007) |

Çalışmamızda; organik yüklemenin en fazla olduğu değerler yoğurtaltı suyu için 4.5-5.5 g KOİ/L.gün peyniraltı suyu için 6-6.75 g KOİ/L.gün olarak gerçekleşmiştir. Hidrolik yükleme süresi ise 4 gün olarak uygulanmıştır. Bu değerlerde toplam çıkış KOİ verimleri yoğurtaltı suyu (YAS) için %58–65 ve peyniraltı suyu (PAS) için %57-55 arasındadır. Organik yükleme değerlerine ve hidrolik bekletme sürelerine bakıldığı zaman elde edilen sonuçlar Tablo 4.5' de verilen literatür çalışmalar ile karşılaştırıldığında, İki Kademeli HÇYR ile yapılan çalışmanın uygulanabilir olduğu gözlenmiştir. Çalışmamızda diğer çalışmalardan farklı olarak, asidojenik faaliyet besi çözeltisinin bulunduğu tankta metanojenik faaliyet ise birinci ve ikinci kademe HÇYR' de gerçekleşmiştir. İkinci kademe HÇYR, birinci kademe HÇYR'nin konrolünü sağlamış ve bu reaktörde kayda değer şekilde giderim sağlanmıştır.

# 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Anaerobik arıtma sistemlerinde amaç yüksek organik madde giderimi ve reaktör biyogazında yüksek oranda metan gazı elde etmektir. Bu amaçlara ulaşmak için mümkün olan en yüksek yükleme değerleri ve sonuçta elde edilebilecek arıtma performansları büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, PAS ve YAS'ın sürekli sistemde anaerobik arıtımı incelenmiştir. Çalışmada, maksimum yükleme seviyelerini ve arıtma performanslarını en çok etkileyen faktörler; yüksek atık su konsantrasyonu, yüksek oranlarda asidite ve lipid konsantrasyonları, reaktörde mevcut alkalinite miktarı olarak sıralanabilmektedir.

KOİ; anaerobik arıtımda, kirlilik gideriminin bir göstergesi olduğu için deney süresi boyunca KOİ bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Reaktörlerin verimi KOİ giderimine göre değerlendirilmiştir.

Arıtım çalışmaları boyunca; PAS ile beslenen iki kademeli HÇYR ve YAS ile beslenen iki kademeli HÇYR karşılaştırıldığında, YAS ile beslenen HÇYR' de KOİ giderim veriminin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Arıtım çalışmaları boyunca; seyrelme oranlarına bağlı olarak artan yüklemelerle birlikte KOİ giderim veriminin düştüğü ayrıca yine seyrelme oranlarına bağlı olarak artan yüklemeler sonucunda besi tankından gelen farklı seviyelerdeki UYA'nın gideriminin etkili biçimde gerçekleştiği gözlenmiştir. UYA' nın etkin giderimine bağlı olarak $HCO_3^-$ miktarı artmıştır. Çıkış suyundaki $HCO_3^-$ miktarının artması bu atıksuyun geri devir için kullanılabilir olduğunun göstergesidir. Ayrıca çıkış suyunun pH değeri sonraki arıtım için uygun bir pH aralığında olduğunun da göstergesidir.

Arıtım çalışmaları boyunca; besi tankında hidroliz ve asitlenme reaksiyonları gerçekleşmiş ve bu tank ön asitlenme tankı işlevini görmüştür. Birinci ve ikinci kademe reaktörlerinde metanojenik faaliyetler gerçekleşmiştir. Organik maddelerin çoğu; bakteri yoğunluğunun fazla olduğu birinci kademe HÇYR' de, reaktör yüksekliğinin 1/4' lük kısmında gerçekleşmiştir. İkinci kademe HÇYR, birinci kademe HÇYR' nin, arıtım veriminin artmasını sağlamıştır.

Sonuç olarak; yüksek konsantrasyonda organik madde ve yağ içeren süt endüstrisi atık sularının, anaerobik arıtım ile bir ön arıtım ihtiyacı karşılanabilmektedir ve muhtemel bir aerobik arıtım için uygun çıkış suyu üretilebilmektedir. Özellikle yüksek konsantrasyonlar da AKM ve yağ içeren, konsantre süt endüstrisi atık sularının havasız arıtımı için, iki kademeli havasız artıma prosesleri daha uygun bir seçim olarak gözükmektedir. Sistemde etkin UYA giderimi ile sisteme verilen yüksek miktarda alkalinite geri kazanılmıştır ve geri devirle sistemin alkali ihtiyacının düşürülmesinde önemli bir faktördür.

İki kademeli HÇYR kullanılarak yapılan arıtmalarda, süt endüstrisi atıksularının debi ve kompozisyonunda meydana gelebilecek ani ve yüksek değişiklikler anaerobik arıtma sisteminden önce ön asitlenme tankı olarak çalışacak bir dengeleme tankının devreye alınması ile çözülebilir.

Proses atıksularının büyük işletmelerde tesis içi sularla seyrelmesinden önce ayrı arıtımı, kombine arıtma tesisinin yükünü ve küçük tesislerde de kanalizasyona deşarj yükünü önemli ölçüde azaltacağından bu endüstri için çalışılmış çok kademeli arıtma sistemi uygun olacaktır.

## 6. KAYNAKLAR

Aydemir, D., 2003, Peyniraltı Suyunun Anaerobik Arıtımı ve Biyogaz Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Bitton, G., 1994, Wastewater Microbiology, *CRC Press*, USA, 229-245

Demirel, B., Yenigün, O., ve Onay, T., 2005, Anaerobic Treatment Of Dairy Wastewater : A Rewiew, *Process Biochemistry,* 40, 2583-2595

Demirer, G. N., Duran, M., Ergüder, T. H., Güven, E., Uğurlu, O., And Tezel, U., 2000, An Anaerobic Treatability And Biogas Production Potential Studies Of Different Agro-Industrial Wastewaters In Turkey, *Biodegradation*, 11, 401-405

Duran, M., Demirer G.N., 1997, Atıksu Arıtımı ve Anaerobik Biyoteknoloji, Atıksu Arıtma Sistemleri Semineri Notları, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi

Farizoğlu, B., Keskinler, B., Yıldız, E., Nuhoğlu, A., 2004, Cheese Whey Treatment Performance Of An Anaerobic Jet Loop Membrane Bioreactor, *Process Biochemistry*, 39, 2283-2291

Filibeli, A., Büyükkamacı, N., ve Ayol, A., 2000, Anaerobik Arıtma, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir

Gavala, H. N., Kopsinis, H., Skiadas, I. V., Stamatelatou, K., And Lyberatos, G. 1999, Treatment Of Dairy Wastewater Using An Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor, *Journal Of Agrıcultural And Engıneerıng Research*, 73, 59-63

Ghally, A. E., 1996, A Comprative Study Of Anaerobic Digestion Of Acid Cheese Whey And Dairy Manure In A Two-Stage Reactor, *Bioresource Technology*, 58, 61-72

Gökçay, C., Demirer, G.N., Ergüder, T.H., N.V. ve Tezel, U., 2002, Anaerobik Arıtımı Teorik Altyapı Uygulamaları Eğitim Semineri Notları, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi

Gökçay, C.F., Duran, M.M., ve Demirer, G,N., 2001, Anaerobik Biyoteknoloji Teorik Altyapı ve Uygulamalar, IV. Ulusal Çevre Mühendisleri Kongresi, İçel, 7-10 Kasım

Göblös, Sz., Portörö, P., Bordas, D., Kalman, M., Kiss, I., 2008, Comparation Of The Effectives Of Two-PHase And Single-PHase Anaerobic Sequencing Batch Reactors During Dairy Wastewater Treatment , *Renew Energy,* 33, 960-965

Han QING YU, and FANG, Herbert, H, P., 2001, Asidification Of Mid-And High-Strength Dairy Wastewaters, *Water Research*, 35, 697-705

İnce, B, K., And İnce, O., 2000, Changes To Bacterial Community Make-Up In A Two-PHase Anaerobic Digestion System, *Chem Technol Biotechnol*, 75, 500-508

İnce, O., 1998, Performance Of A Two-PHase Anaerobic Digestion System When Treating Dairy Wastewater, *Waste Research*, 32, 2707-2713

Lapp, H. M., Schulte, D. D., Sparling, A. B., and Buchanan, L.C., 1975, Methane Production From Animal Wastes. 1. Fundamental Considerations, *Canadian Agr. Eng.*, 31, 1518-1524

Lin, C.Y., Noike, T., Sato, K. and Matsumoto, J., 1987, Temperature Caracteristics Of The Methanogenesis Process In Anaerobic Digestion, *Water Science And Tecnology*, 19, 299-310

Öztürk, E., 2007, Peyniraltı Suyunun Anaerobik Arıtma Çamuru Reaktöründe Arıtımında En Uygun koşulların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Punal, A., Mendez-Pamain, R. J., And Lema, J. M., 1999, Characterization And Comparision Of Biomasses From Single-And Multi-Fed Upflow Anaerobic Filtres, *Biosource Tecnology*, 68, 293-300

Ramasamy, E.V., Gajalakshmi, S., Sanjeevi, R., Jithesh, M.N., Abbasi, S.A., 2004, Feasibility Studies On The Tratment Of Dairy Wastewater With Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors, *Bioresource Technology*, 93, 209-212

Speece, R.E., 1996, Anaerobic Biotechnology For Industrial Wastewater, *Arche Press*, Tennessee, TN, USA, 34-67

Şengül, F., 1991, Süt Endüstrisi Atıksularının Özellikleri Ve Arıtımı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İzmir

Tüzüm, A. P., 2003, Yemek Atıklarının Anaerobik Arıtımı ve Biyogaz Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Uemura, S., And Harada, H., 2000, Treatment Of Sewage By A UASB Reactor Under Moderate To Low Temperature Conditions, *Bioresource Technology*, 172, 275-282

Uğurlu, A., 1995, Anaerobik Arıtma Tesisleri, Çevre ve Mühendis, Ankara

Uraz, T., Güneş, T., Sezgin, E., 1981, Süt ve Mamülleri Teknolojisi, Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara

Van Den Berg, L., 1997, Effect Of Temperature On Growth And Activity Of A Methanogenic Culture Utilizing Acetate, *Canad J. Of Microb.*, 23, 151-158

Van Lier, J. B., Martin, J. L. S. And Lettinga, G., 1996, Effect Of Temperature On The Anaerobic ThermopHilic Conversion Of Volatile Fatty Acids By Dispersed And Granulal Sludge, *Water Research*, 30, 199-207

Yeğin, S., 1995, Peyniraltı Suyunun Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Yu, H., Q., Tay J., H., And Fang H., P., 2001, The Roles Of Calcium In Sludge Granulation During UASB Reactor Stary-Up, *Water Research*, 27, 1052-1060