

**EVSEL ATIKSULARIN HAVASIZ BİYOLOJİK**

**ARITIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

**DOKTORA TEZİ**

**Yük. Müh. Gülseven UBAY**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Temmuz 1993**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Ekim 1993**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. İzzet ÖZTÜRK**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Derin ORHON  
Prof.Dr. Mehmet KARPUZCU**

## ÖNSÖZ

Evsel atıksuların Havasız Çamur Yatağı sisteminde arıtım esasları ile arıtma prosesini kontrol eden teknolojik parametreler araştırıldığı bu çalışmadan, özellikle ülkemizin sıcak ve ılıman iklim kuşağındaki yerleşim birimlerinin evsel atıksu arıtma sorunlarının çözümüne ışık tutucu veriler elde edilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki değerli katkıları, çalışma boyunca gösterdiği ilgi, teşvik ve desteği sebebiyle Sayın Hocam Doç.Dr. İzzet ÖZTÜRK'e şükranlarımı arz ederim. Çalışmayı büyük bir titizlikle değerlendiren ve gelecekteki çalışmalarına yön verecek açıklamalar getiren Sayın Hocam Prof.Dr. Derin ORHON ve Prof.Dr. Mehmet KARPUZCU'ya teşekkür ederim.

Çalışmanın gerçekleştirildiği İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Pilot Tesisler Laboratuvarı ve Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarının yöneticileri Sayın Prof.Dr. Veysel EROĞLU ve Sayın Prof.Dr. Olcay Tünay şahsında katkıda bulunan herkese teşekkür ederim.

Çalışmanın çeşitli safhalarında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Yük.Müh. Emine UBAY, Yük.Müh. Şevket ÇOKGÖR, Biolog Hürrem BAYHAN ve Yük.Müh. Tanju Akar'a çok teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmayı maddi katkılarıyla destekleyen Devlet Planlama Teşkilatı'na ve akademik kariyer yapmam konusunda teşvik ve yardımlarını esirgemeyen, doktora tezimi bitirdiğimi göremeden ebediyete göçmüş olan sevgili babam Refik UBAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çevre Yük.Müh.  
Gülseven UBAY  
15.10.1993  
İSTANBUL

## İÇİNDEKİLER

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| ÖNSÖZ                                                                       | II  |
| NOTASYON LİSTESİ                                                            | VI  |
| ŞEKİL LİSTESİ                                                               | IX  |
| TABLO LİSTESİ                                                               | XII |
| ÖZET                                                                        | XV  |
| SUMMARY                                                                     | XV  |
| BÖLÜM 1. GİRİŞ                                                              | 1   |
| 1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ                                              | 1   |
| 1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI                                             | 2   |
| BÖLÜM 2. HAVASIZ ARITMANIN ÖZELLİKLERİ                                      | 4   |
| 2.1. GİRİŞ                                                                  | 4   |
| 2.2. HAVASIZ ARITMANIN ESASLARI                                             | 4   |
| 2.2.1. HAVASIZ ARITMANIN MİKROBİYOLOJİSİ                                    | 5   |
| 2.2.2. HİDROLİZ                                                             | 7   |
| 2.2.3. ASİT VE METAN ÜRETİMİ                                                | 10  |
| 2.2.3.1. ASİT ÜRETİMİ                                                       | 10  |
| 2.2.3.2. METAN ÜRETİMİ                                                      | 13  |
| 2.3. İŞLETMEYE ALMA VE PROSES KONTROLÜ                                      | 14  |
| 2.3.1. GİRİŞ                                                                | 14  |
| 2.3.2. İŞLETMEYE ALMA                                                       | 14  |
| 2.3.2. HAVASIZ SİSTEMLERİN İZLENMESİ VE KONTROLÜ                            | 16  |
| 2.3.3. HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI REAKTÖRLERDE İŞLETMEYE ALMA VE PROSES KONTROLÜ | 19  |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <b>BÖLÜM 3. HAVASIZ ARITMA SİSTEMLERİ</b>                        | 22 |
| 3.1. GİRİŞ                                                       | 22 |
| 3.2. HAVASIZ ARITMA İLE HAVALI ARITMANIN<br>KARŞILAŞTIRILMASI    | 23 |
| 3.3. HAVASIZ ARITMA SİSTEMLERİ                                   | 26 |
| 3.3.1. KLASİK HAVASIZ ÇÜRÜTÜCÜ                                   | 26 |
| 3.3.2. HAVASIZ AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ                               | 27 |
| 3.3.3. HAVASIZ FİLTRE                                            | 27 |
| 3.3.4. HAVASIZ AKIŞKAN YATAKLI REAKTÖR                           | 28 |
| 3.3.5. ULTRAFİLTRASYONLU HAVASIZ REAKTÖR                         | 28 |
| 3.3.6. HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI FİLTRE                              | 30 |
| 3.3.7. HAVASIZ PERDELİ REAKTÖR                                   | 30 |
| 3.3.8. İKİ KADEMELİ HAVASIZ REAKTÖR                              | 31 |
| 3.3.9. KURU ANAEROBİK REAKTÖR                                    | 31 |
| 3.3.10. HAVASIZ ÇAMUR YATAĞI                                     | 32 |
| <b>BÖLÜM 4. HAVASIZ ARITMANIN KİNETİĞİ</b>                       | 41 |
| 4.1. GİRİŞ                                                       | 41 |
| 4.2. MONOD YAKLAŞIMI                                             | 41 |
| 4.3. SUBSTRAT İNHİBİSYONU                                        | 43 |
| 4.4. İKİNCİ MERTEBE KİNETİĞİ                                     | 44 |
| <b>BÖLÜM 5. EVSEL ATIKSULARIN HAVASIZ ARITIMI</b>                | 47 |
| 5.1. EVSEL ATIKSUYUN ÖZELLİKLERİ                                 | 47 |
| 5.2. EVSEL ATIKSULARIN HAVASIZ ARITIMI KONUSUNDAKİ<br>ÇALIŞMALAR | 47 |
| <b>BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                              | 67 |
| 6.1. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM<br>VE SİSTEMLER        | 67 |
| 6.1.1. DENEY TESİSİ VE KULLANILAN ATIĞIN<br>ÖZELLİKLERİ          | 67 |
| 6.1.2. DENEYSEL ÇALIŞMA PLANI                                    | 68 |
| 6.2. REAKTÖR HİDROLİĞİ MODELLERİ                                 | 70 |
| 6.2.1. DİSPERSİYONLU AKIM MODELİ                                 | 71 |

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 6.2.2. GAMA DAĞILIM MODELİ                                      | 72  |
| 6.2.3. GENELLEŞTİRİLMİŞ GAMA DAĞILIM MODELİ                     | 74  |
| <b>BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ</b>            | 76  |
| 7.1. İZLEYİCİ MADDE DENEYLERİ                                   | 76  |
| 7.2. MODEL REAKTÖRDE YAPILAN DENEYLER                           | 84  |
| 7.2.1. ORGANİK YÜK VE KOİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRME              | 90  |
| 7.2.2. SICAKLIK, pH VE ALKALİNİTE                               | 92  |
| 7.2.3. BİYOKİTLE                                                | 96  |
| 7.2.4. BİYOGAZ ÜRETİMİ                                          | 101 |
| 7.3. KİNETİK DEĞERLENDİRME                                      | 101 |
| 7.3.1. DENEY SONUÇLARININ İKİNCİ MERTEBE KİNETİĞİNE UYGULANMASI | 101 |
| 7.3.2. DENEY SONUÇLARININ $E = K\theta^n$ İFADESİNE UYGULANMASI | 107 |
| 7.4. İLAVE ARITMA İLE AZOT VE FOSFOR GİDERİMİ                   | 110 |
| <b>BÖLÜM 8. SONUÇLAR</b>                                        | 127 |
| 8.1. İZLEYİCİ MADDE DENEYLERİ                                   | 127 |
| 8.2. ORGANİK YÜK VE KOİ                                         | 127 |
| 8.3. SICAKLIK, pH VE ALKALİNİTE                                 | 128 |
| 8.4. BİYOKİTLE                                                  | 129 |
| 8.5. KİNETİK DEĞERLENDİRME                                      | 129 |
| 8.6. İLAVE ARITMA İLE AZOT VE FOSFOR GİDERİMİ                   | 131 |
| 8.7. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER                            | 131 |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                | 133 |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                 | 143 |

## NOTASYON VE KISALTMALAR LİSTESİ

| <b><u>SEMBOL</u></b>   | <b><u>BİRİM</u></b> | <b><u>AÇIKLAMA</u></b>                                        |
|------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>a</b>               | -                   | Katsayı                                                       |
| <b>a</b>               | -                   | $S_o/X$ 'in bir fonksiyonu                                    |
| <b>AÇS</b>             |                     | Aktif çamur sistemi                                           |
| <b>AKM</b>             | mg/l                | Askıda katı madde miktarı                                     |
| <b>AKM<sub>ç</sub></b> | mg/l                | Çıkış AKM konsantrasyonu                                      |
| <b>AKM<sub>g</sub></b> | mg/l                | Giriş AKM konsantrasyonu                                      |
| <b>b</b>               | -                   | Katsayı                                                       |
| <b>BOİ</b>             | mg/l                | Biyolojik oksijen ihtiyacı                                    |
| <b>C<sub>1</sub></b>   | mg/l                | Gama Karışım Bölgesi Çıkışındaki İz maddesi konsantrasyonu    |
| <b>C<sub>i</sub></b>   | mg/l                | İz maddesi konsantrasyonu                                     |
| <b>D/UL</b>            | -                   | Dispersiyon sayısını                                          |
| <b>D</b>               | -                   | Sistemdeki ölü bölge                                          |
| <b>E</b>               | %                   | Verim                                                         |
| <b>E(t)</b>            | -                   | İz maddesi bekleme süreleri dağılımı                          |
| <b>F</b>               | ML <sup>-3</sup>    | Ayrışabilir organik madde konsantrasyonu                      |
| <b>F<sub>o</sub></b>   | ML <sup>-3</sup>    | Başlangıçtaki ayrışabilir askıda organik madde konsantrasyonu |
| <b>f(t)</b>            | -                   | İhtimal yoğunluk fonksiyonu                                   |
| <b>k<sub>h</sub></b>   | T <sup>-1</sup>     | Hidroliz hızı katsayısı                                       |
| <b>HAÇS</b>            | -                   | Havasız aktif çamur sistemi                                   |
| <b>HAYR</b>            | -                   | Havasız akışkan yataklı reaktör                               |
| <b>HÇYR</b>            | -                   | Havasız çamur yatağı                                          |
| <b>HR</b>              | -                   | Havasız çamur yataklı filtre (hibrid reaktör)                 |
| <b>HF</b>              | -                   | Havasız filtre                                                |

| <b>SEMBOL</b>   | <b>BİRİM</b>                        | <b>ACIKLAMA</b>                                                         |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| HPR             | -                                   | Havasız perdeli reaktör (Baffled Reactor)                               |
| İKHR            | -                                   | İki kademeli havasız reaktör (faz ayırmalı)                             |
| KAR             | -                                   | Kuru anaerobik reaktör                                                  |
| KHÇ             | -                                   | Klasik havasız çürütücü                                                 |
| K               | -                                   | Katsayı                                                                 |
| K               | gün <sup>-1</sup>                   | Birim mikroorganizma kütlesi başına maksimum besi maddesi kullanım hızı |
| K <sub>d</sub>  | gün <sup>-1</sup>                   | İçsel solunum katsayısı                                                 |
| K <sub>s</sub>  | mg/l                                | Yarı hız sabiti                                                         |
| K <sub>i</sub>  | M/L <sup>3</sup>                    | İnhibisyon katsayısı                                                    |
| K <sub>2</sub>  | gün <sup>-1</sup>                   | İkinci mertebe kinetiği organik madde giderim hızı                      |
| K <sub>i2</sub> | ML <sup>-3</sup>                    | Amonyakın inhibisyon katsayısını                                        |
| KOİ             | mg/l                                | Kimyasal oksijen ihtiyacı                                               |
| L <sub>v</sub>  | kgKOİ/m <sup>3</sup> ·gün           | Hacimsel organik yük                                                    |
| L <sub>H</sub>  | m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ·gün | Hacimsel organik yük                                                    |
| NH <sub>3</sub> | ML <sup>-3</sup>                    | İyonize olmamış amonyak konsantrasyonu                                  |
| p               | -                                   | Akım yönündeki karışım parametresi                                      |
| Q               | ML <sup>-3</sup>                    | Debi                                                                    |
| Q <sub>i</sub>  | ML <sup>-3</sup>                    | Γ - karışım bölgesindeki debi                                           |
| Q <sub>2</sub>  | ML <sup>-3</sup>                    | By - pass akımının debisi                                               |
| Q <sub>T</sub>  | ML <sup>-3</sup>                    | Toplam debi                                                             |
| Q <sub>w</sub>  | m <sup>3</sup> /gün                 | Sistemden uzaklaştırılan fazla çamur debisi                             |
| r <sub>su</sub> |                                     | Organik madde giderim hızı                                              |
| R <sub>L</sub>  |                                     | KOİ giderim hızı                                                        |
| S               | mg/l                                | İyonize olmamış uçucu asit konsantrasyonu                               |
| S <sub>o</sub>  | mg/l                                | Giriş KOİ konsantrasyonu                                                |
| S <sub>i</sub>  | mg/l                                | Çıkış KOİ konsantrasyonu                                                |
|                 |                                     | (Büyüme sınırlandırıcı besi maddesi konsantrasyonu)                     |
| t               | T                                   | Başlangıçtan itibaren zamanı                                            |
| t <sub>i</sub>  | T                                   | Zaman                                                                   |

| <b><u>SEMBOL</u></b>        | <b><u>BİRİM</u></b> | <b><u>ACIKLAMA</u></b>                                                     |
|-----------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| $\bar{t}$                   | T                   | Sistemin ortalama bekleme süresi                                           |
| TAM                         | mg/l                | Toplam askıda katı madde                                                   |
| TKN                         | mg/l                | Toplam Kjeldahl azotu                                                      |
| TP                          | mg/l                | Toplam fosfor                                                              |
| UHR                         | -                   | Ultrafiltrasyonlu havasız reaktör                                          |
| V                           | m <sup>3</sup>      | Reaktör hacmi                                                              |
| V <sub>1</sub>              | L <sup>3</sup>      | Γ- karışım bölgesinin hacmi                                                |
| V <sub>2</sub>              | L <sup>3</sup>      | Piston akımlı bölgenin hacmi                                               |
| V <sub>T</sub>              | L <sup>3</sup>      | Tüm sistemin hacmi                                                         |
| X                           | mg/l                | Mikroorganizma konsantrasyonu                                              |
| X <sub>w</sub>              | mg/l                | Fazla çamurdaki mikroorganizma konsantrasyonu                              |
| X <sub>e</sub>              | mg/l                | Çıkıştaki UKM konsantrasyonu                                               |
| X*                          | mg/l                | Çamur yatağı + çamur örtüsündeki biyokitle miktarı                         |
| Y                           | -                   | Mikroorganizma dönüşüm değeri                                              |
| α                           | -                   | Katsayı                                                                    |
| β                           | -                   | Γ-karışım bölgesine giren debinin oranı(Q <sub>1</sub> /Q <sub>T</sub> )   |
| β                           | -                   | Katsayı                                                                    |
| Γ                           | -                   | Tanımlanan Gamma Fonksiyonu                                                |
| θ                           | T                   | Hidrolik bekletme süresi                                                   |
| θ <sub>c</sub>              | gün                 | Çamur yaşı                                                                 |
| θ <sub>c</sub> *            | gün <sup>-1</sup>   | Çamur yatağı + çamur örtüsündeki bekleme süresi                            |
| μ                           | gün <sup>-1</sup>   | Bakterilerin özgül çoğalma hızı                                            |
| μ <sub>m</sub>              | gün <sup>-1</sup>   | Maksimum özgül çoğalma hızı                                                |
| ν                           | T                   | Sistemdeki ortalama bekleme süresi                                         |
| μ <sub>t</sub>              | T                   | Hidrolik kalış süreleri dağılımı ortalaması                                |
| τ                           | -                   | piston akımlı kısımdaki boyutsuz bekleme süresi<br>$V_2/V_T = 1 - V_1/V_T$ |
| σ <sup>2</sup>              | T <sup>2</sup>      | Varyans                                                                    |
| σ <sub>θ</sub> <sup>2</sup> |                     | Varyans(boyutsuz)                                                          |

## ŞEKİL LİSTESİ

| <u>ŞEKİL NO</u> | <u>AÇIKLAMA</u>                                                                                                                  |    |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1.      | Polimerik Yapıdaki Maddelerin Havasız Ayrışma Safhaları                                                                          | 6  |
| Şekil 2.2.      | H <sub>2</sub> Kısmi Basıncının Metan Üretimi Sürecindeki Önemi                                                                  | 13 |
| Şekil 3.1.      | Havasız Reaktör Tipleri                                                                                                          | 29 |
| Şekil 3.2       | a. Filtrenin altında gaz toplama yapısı içeren HR                                                                                |    |
|                 | b. Standart HR                                                                                                                   | 30 |
| Şekil 4.1.      | Kütle Dengesinde Esas Alınan Havasız Arıtma Sistemi                                                                              | 44 |
| Şekil 6.1.      | Çalışmanın Yapıldığı Model Havasız Çamur Yatağı                                                                                  | 69 |
| Şekil 6.2.      | Tam Karışım, Piston Akımlı ve Ölü Bölge Bir Reaktörde E-Eğrisi                                                                   | 72 |
| Şekil 7.1.      | Reaktör Çıkışındaki Lityum Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi                                                                    | 77 |
| Şekil 7.2.      | Reaktör Çıkışındaki Lityum Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi                                                                    | 78 |
| Şekil 7.3.      | Reaktör Çıkışındaki Lityum Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi                                                                    | 78 |
| Şekil 7.4.      | E( $\theta$ )- $\theta$ Eğrisi (Q = 41 l/gün)                                                                                    | 79 |
| Şekil 7.5.      | E( $\theta$ )- $\theta$ Eğrisi (Q = 31 l/gün)                                                                                    | 79 |
| Şekil 7.6.      | E( $\theta$ )- $\theta$ Eğrisi (Q = 20.7 l/gün)                                                                                  | 80 |
| Şekil 7.7.      | Deneysel Çalışmadan Elde Edilen E( $\theta$ )- $\theta$ Eğrilerinin Geliştirilmiş Gama Fonksiyonu Eğrileri İle Karşılaştırılması | 81 |
| Şekil 7.8.      | Boyutsuz Zaman ve Konsantrasyon Eğrileri                                                                                         | 83 |
| Şekil 7.9.      | Hidrolik Bekleme Süresi İle Organik ve Hidrolik Yükün Değişimi                                                                   | 91 |
| Şekil 7.10.     | $\theta$ 'ya Bağlı Olarak S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> ve E'nin Değişimi                                                      | 91 |
| Şekil 7.11.     | L <sub>v</sub> İle Ortalama Biyokütle ve Askıda Katı Maddenin Değişimi                                                           | 93 |

ŞEKİL NO      ACIKLAMA

|             |                                                                                                 |     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 7.12. | KOİ Giderme Hızı $R_L$ 'nin Organik Yükle Değişimi                                              | 93  |
| Şekil 7.13. | Çalışmanın I.Devresinde Giriş-Çıkış KOİ'lerinin Zamanla Değişimi                                | 94  |
| Şekil 7.14. | Çalışmanın II.Devresinde Giriş-Çıkış KOİ'lerinin Zamanla Değişimi                               | 94  |
| Şekil 7.15. | Çalışmanın III.Devresinde Giriş-Çıkış KOİ'lerinin Zamanla Değişimi                              | 95  |
| Şekil 7.16. | Çalışmanın I.Devresinde Giriş-Çıkış pH'larının Zamanla Değişimi                                 | 95  |
| Şekil 7.17. | Çalışmanın II.Devresinde Giriş-Çıkış pH'larının Zamanla Değişimi                                | 96  |
| Şekil 7.18. | Çalışmanın III.Devresinde Giriş-Çıkış pH'larının Zamanla Değişimi                               | 97  |
| Şekil 7.19. | Çalışmanın I.Devresinde Giriş-Çıkış Alkalinitelerinin Zamanla Değişimi                          | 97  |
| Şekil 7.20. | Çalışmanın II.Devresinde Giriş-Çıkış Alkalinitelerinin Zamanla Değişimi                         | 98  |
| Şekil 7.21. | Çalışmanın III.Devresinde Giriş-Çıkış Alkalinitelerinin Zamanla Değişimi                        | 98  |
| Şekil 7.22. | Biyokitle Miktarının Reaktör Boyunca Değişimi                                                   | 100 |
| Şekil 7.23. | Çalışma Sonuçlarının İkinci Mertebe Kinetiğine Uygulanması                                      | 104 |
| Şekil 7.24. | Elde Edilen Değerlerin Model Doğrusu İle Karşılaştırılması                                      | 104 |
| Şekil 7.25. | Literatür Verilerinin İkinci Mertebe Kinetiğine Uygulanması                                     | 105 |
| Şekil 7.26. | Literatür Verilerinin İkinci Mertebe Kinetiğine Uygulanmasından Elde Edilen Regresyon Doğruları | 105 |
| Şekil 7.27. | "a" nın $S_0/X$ 'in Fonksiyonu Halinde İfadesi                                                  | 106 |
| Şekil 7.25. | Çeşitli Çalışmalar İçin "a"nın Aldığı Değerler                                                  | 107 |
| Şekil 7.29. | Çeşitli Çalışmalar İçin $E = K\theta^a$ nın Aldığı Değerler                                     | 108 |

| <u>ŞEKİL NO</u> | <u>ACIKLAMA</u>                                                                       |     |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 7.30.     | Ca(OH) <sub>2</sub> İle Yapılan Kimyasal Arıtmadan Elde Edilen Sonuçlar               | 117 |
| Şekil 7.31.     | C <sub>2</sub> S İle Yapılan Kimyasal Arıtmadan Elde Edilen Sonuçlar                  | 118 |
| Şekil 7.32.     | NaOH İle Yapılan Kimyasal Arıtmadan Elde Edilen Sonuçlar                              | 120 |
| Şekil 7.33.a.   | NaOH İlavesi İle TKN, NH <sub>3</sub> ve P Giderimi                                   | 121 |
| Şekil 7.33.b.   | NaOH İlavesi ve 5 dk. Havalandırma Sonucu TKN, NH <sub>3</sub> ve P Giderimi          | 121 |
| Şekil 7.34.a.   | Ca(OH) <sub>2</sub> İle TKN, NH <sub>3</sub> ve P Giderimi                            | 122 |
| Şekil 7.34.b.   | Ca(OH) <sub>2</sub> ve 5 dk. Havalandırma Sonucu TKN, NH <sub>3</sub> ve P Giderimi   | 122 |
| Şekil 7.35.a.   | NaOH İlavesi ve 30 dk. Havalandırma Sonucu NH <sub>3</sub> ve P Giderimi              | 123 |
| Şekil 7.35.b.   | NaOH İlavesi ve 60 dk. Havalandırma Sonucu NH <sub>3</sub> ve P Giderimi              | 123 |
| Şekil 7.36.a.   | Ca(OH) <sub>2</sub> ve 30 dk. Havalandırma Sonucu NH <sub>3</sub> ve P Giderimi       | 124 |
| Şekil 7.36.b.   | Ca(OH) <sub>2</sub> ve 60 dk. Havalandırma Sonucu NH <sub>3</sub> ve P Giderimi       | 124 |
| Şekil 7.37.     | Ca(OH) <sub>2</sub> ve 120 dk. Havalandırma Sonucu TKN, NH <sub>3</sub> ve P Giderimi | 125 |

## TABLO LİSTESİ

### **TABLO NO   AÇIKLAMA**

|            |                                                                                                                            |    |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1. | Başlıca Havasız Mikroorganizma Grupları                                                                                    | 5  |
| Tablo 2.2. | Havasız Ayırışmanın Herbir Adımında Etkili Olan Bakteriler                                                                 | 8  |
| Tablo 2.3. | Havasız Mikroorganizmalar İçin Optimum Şartlar                                                                             | 15 |
| Tablo 2.4. | Zararlı Maddelerin Havasız Ayırışma Sürecini Etkileyen Seviyeleri                                                          | 17 |
| Tablo 2.5. | Proses Kontrolunda İzlenmesi Gereken Parametreler                                                                          | 18 |
| Tablo 2.6. | Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerde Çeşitli Parametrelerin Etkileri                                                         | 21 |
| Tablo 3.1. | Aktif Çamur Sistemi ile 1000 m <sup>3</sup> 'lük Ham Evsel Suyu Arıtmak İçin Gerekli Enerji İhtiyacının Ortalama Değerleri | 24 |
| Tablo 3.2. | 1000 m <sup>3</sup> 'lük Sistemde Çamurun Çürütülmesinden Oluşan Enerji Miktarı                                            | 25 |
| Tablo 3.3. | HÇYR'de Uygulanabilecek Organik Yükler                                                                                     | 35 |
| Tablo 3.4. | Sıcaklığa Bağlı Olarak 4 m Yüksekliğindeki HÇYR'de Evsel Atıksular İçin Uygulanabilecek Hidrolik Bekletme Süreleri         | 36 |
| Tablo 3.5. | HÇYR'de debi Dağıtım Sistemi İçin Önerilen Yaklaşık Değerler                                                               | 37 |
| Tablo 3.6. | HÇYR ile Arıtmanın Yaklaşık Maliyeti                                                                                       | 39 |
| Tablo 3.7. | Yüksek Hızlı Havasız Sistemlerin Karakteristik Proses Davranışlarının Karşılaştırılması                                    | 40 |
| Tablo 5.1. | Ham Evsel Atıksu Özellikleri                                                                                               | 48 |
| Tablo 5.2. | Gaz Kompozisyonu (%)                                                                                                       | 48 |
| Tablo 5.3. | Evsel Atıksuların Havasız Arıtımı Konusunda Yapılmış Çalışmalar                                                            | 50 |
| Tablo 6.1. | Evsel Atıksu Özellikleri                                                                                                   | 68 |
| Tablo 6.2. | DeneySEL Çalışmada Uygulanan İşletme Şartları                                                                              | 68 |

**TABLO NO   AÇIKLAMA**

|             |                                                                                         |     |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 6.3.  | İzleme ve Analiz Programı                                                               | 70  |
| Tablo 7.1.  | Lityum Klorür ile Yapılan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar                              | 77  |
| Tablo 7.2.  | Çalışmanın Değişik Devrelerinde Kullanılan Atıksuların<br>Temel Özellikleri             | 85  |
| Tablo 7.3.  | Kararlı Hal İşletme Sonuçları                                                           | 85  |
| Tablo 7.4.  | Çalışmada Ulaşılan Çeşitli Kararlı Hallerde Parametrelerin<br>Aldığı Değerler           | 86  |
| Tablo 7.5.  | Çalışmanın Başlangıcından İtibaren Çeşitli Parametrelerin<br>Aldığı Değerler            | 89  |
| Tablo 7.6.  | Kararlı Hal İşletme Sonuçları                                                           | 90  |
| Tablo 7.7.  | Çamur Yaşının Organik Yükle Değişimi                                                    | 99  |
| Tablo 7.8.  | İkinci Mertebe Kinetiği Veri Tablosu<br>Limitleri                                       | 102 |
| Tablo 7.9.  | Ortalama $S_1$ Değerleri İle Modelden Elde Edilen Sonuçların<br>Karşılaştırılması       | 103 |
| Tablo 7.10. | $\alpha + \beta(S_0/X)$ İfadesinin Çeşitli Atıksular İçin Aldığı Değerler               | 106 |
| Tablo 7.11. | $K\theta^a$ İfadesinin Aldığı Değerler                                                  | 107 |
| Tablo 7.12. | Havasız Filtrelerde Çok Değişkenli Lineer Korelasyon Metodu<br>İle Elde Edilen Sonuçlar | 109 |
| Tablo 7.13. | $Ca(OH)_2$ İle Yapılan Deneyler                                                         | 112 |
| Tablo 7.14. | $C_2S$ İle Yapılan Deneyler                                                             | 112 |
| Tablo 7.15. | $NaOH$ İle Yapılan Deneyler                                                             | 113 |
| Tablo 7.16. | Reaktör Çıkışının Kimyasal Arıtma + Havalandırılmasından<br>Elde Edilen Sonuçlar        | 115 |

## ÖZET

Bu çalışmada, havasız çamur yataklı reaktörlerde evsel atıksuların arıtılabilirliği araştırılmıştır. Evsel atıksu olarak İTÜ Kampüsündeki bir kanalizasyon bacasından alınan atıksu kullanılmıştır.

Birinci bölümde, tezin konusu ve kapsamı açıklanarak önemine değinilmiş ve tez kapsamında araştırılan konular belirtilmiştir. İkinci bölümde havasız arıtma prosesi ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve bu sistemlerde işletmeye alma ile proses kontrolünde dikkat edilecek hususlar özetlenmiştir. Tezin üçüncü bölümünde havasız arıtma sistemleri tanıtılmış ve yaygın olarak kullanılan havasız sistemlerin birbirlerine göre üstünlükleri tartışılmıştır. Bunlara ilaveten havasız çamur yataklı reaktörlerin boyutlandırılmasında dikkat edilecek hususlar verilerek, havalı ve havasız sistemlerin maliyet mukayesesi yapılmıştır. Dördüncü bölümde havasız arıtma sistemlerini modellemede kullanılan kinetik modellere ait bilgiler verilmiştir. Tezin beşinci bölümünde, evsel atıksu ve eşdeğeri sentetik atıksuların havasız arıtımı konusunda yapılan çalışmalar verilmiş ve çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tezin altıncı bölümünde; deneysel çalışma planı, çalışmada kullanılan reaktör ve atıksuyun özellikleri ile reaktörün hidrolik modelini belirlemede faydalanan modellerle ilgili teorik bilgiler verilmiştir. Yedinci bölümde deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılmış ve reaktörün hidrolik özelliklerini belirlemek üzere LiCl ile yapılan deneyler ve elde edilen sonuçların Geliştirilmiş Gama Dağılım Modeline uygulanması verilmiştir. Hidrolik bekleme süresi 6 - 24 saat arasında değiştirilmek suretiyle üç yıllık bir sürede boyunca evsel atıksuların havasız çamur yataklı reaktörde arıtılabilirliği ile ilgili deneysel araştırma yapılmıştır. Reaktör  $3^{30}$  ile  $8^{30}$  arasında beslenmemiş diğer zamanlarda ise toplam debi yarımşar saatlik sürelerde kesikli olarak verilmiştir. Bu tür besleme düzeni özellikle küçük yerleşim birimlerinden gelebilecek debileri temsil etmek üzere seçilmiştir. Çalışma süresinde ortalama olarak % 67 - 78'lik KOİ giderimlerine ulaşılmıştır. Çalışma verileri İkinci Mertebe Kinetiğine ve Çok Değişkenli Lineer Korelasyon Modeline uygulanmış ve sonuçların bu modellere oldukça yüksek bir korelasyonla uyum sağladığı görülmüştür. Bu çalışmalara ilaveten, arıtılmış evsel atıksuda N ve P gidermek amacıyla yapılan kimyasal arıtma deneyleri tablolar ve şekiller halinde verilerek, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

Sekizinci bölümde ise deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve konuyla ilgili gelecekte yapılacak çalışmalarda dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir.

## **SUMMARY**

### **AN INVESTIGATION ON ANAEROBIC TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATERS**

Successful application of anaerobic systems on treatment of medium and high strength industrial wastewaters by modern reactors put the agenda on the anaerobic treatment of domestic wastewaters. The aim of this investigation is to observe the treatment potential of domestic wastewaters in the anaerobic upflow sludge blanket reactors(UASBR), determination of hydraulic and kinetic factors affecting the performance of the system and to develop a compact treatment system for the regions of Turkey with a mild and warm climate by using the experimental data from the study. The experimental studies have been continued on an anaerobic upflow sludge blanket reactor about three years in laboratory conditions.

### **LITERATURE REVIEW**

The anaerobic treatability studies of domestic wastewaters can be separated into three groups with respect to the characteristics of the wastewaters. These are:

- Purely domestic wastewaters
- Municipal wastewaters including industrial effluents
- Low strength synthetic wastewaters

While COD removals of 70 to 90 % are observed for anaerobic treatability studies of domestic and low strength synthetic wastewaters, lower COD removal efficiencies may be observed for domestic wastewaters containing industrial effluents due to possible inhibitory substances.

Anaerobic treatment of diluted wastewaters has created some problems due to low growth yields of anaerobic microorganisms. The growth yields of methane bacteria controlling the last phase of the anaerobic treatment process are very low and their doubling time is about 3 to 5 days. The minimum doubling time is occurred only when the organic carbon concentrations are high and micro and macro nutrients sufficient. As a results, the active biomass wash-out rate must be lower than the synthesis rate to maintain the stability of the reactor. That's why, the wash out of biomass from the reactor is minimized and very short hydraulic retention time are not applied.

While scientific and technological information level on anaerobic treatment were increased, the anaerobic treatment process used for high strength organic wastewaters, now has also been used for diluted wastewaters. Anaerobic treatment can be considered as a compact, simple and economic process and it can be easily applied for the effluents from restaurants, hotels and holiday resorts. Even in the septic tanks operated at appropriate conditions, considerable levels of COD removals can be achieved. Using of lower volumetric loadings in anaerobic treatment of partially soluble waste waters are more appropriate.

In fact, complex wastewaters containing high amount of particulate organics can also be treated in granular upflow sludge blanket reactor. In the UASBR having flocculent sludge, influent suspended solids cause to decrease in the methanogenic activity of the biomass. That's why, there is no guarantee for the granulation process in the treatment of wastewaters with high amount of suspended solids.

The following conclusions can be given considering the anaerobic treatability results from the related literature so far:

- . In the anaerobic treatment of domestic wastewaters, COD removals of 30 to 85 % are possible depending on the share of industrial effluents in the municipal wastewaters.
- . Domestic wastewaters can be treated anaerobically at high organic and hydraulic loading rates. Hydraulic retention times as low as one hour are applicable.
- . Excess biological sludge produced in the anaerobic treatment of domestic wastewaters is very low compared to the aerobic treatment processes.
- . Anaerobic treatment systems, particularly UASBR's, are very feasible and attractive alternatives for the treatment of domestic wastewaters.
- . UASBR's are simple, compact and low cost reactors, so they are easily applicable.
- . The removal of nutrients in the effluent from the anaerobic treatment systems may be required especially in the case of discharging enclosed water.

## **MATERIAL AND METHODS**

Anaerobic treatability studies were performed in a lab-scale UASBR with a net volume of 10.35 l. The reactor was fed intermittently during the course of the study. Characteristics of the feed to the reactor were given in Table 1. The same reactor had previously been used in another anaerobic treatability study carried out by synthetic low strength wastewater and the sludge in the reactor was used as the seed for this study. Such an opportunity reduced to the period of start-up. The reactor was not fed between 3<sup>30</sup> to 8<sup>00</sup> am. Total daily feed was pumped to the reactor in the rest of the day within 30 minutes intervals for each hour. Such a feeding regime was applied to simulate the flowrate of the domestic wastewaters from the small communities. Operating conditions in this study were given in Table 2.

Table 1. Characteristics of Domestic Wastewater

| Parameter              | Value   |
|------------------------|---------|
| pH                     | 5.6-9.6 |
| COD(mg/l)              | 32-780  |
| Alkalinity (mg/l)      | 25-700  |
| Temperature(°C)        | 5-28    |
| TKN (mg/l)             | 24-120  |
| NH <sub>3</sub> (mg/l) | 24-88   |
| Total P (mg/l)         | 2.7-4.3 |

Table 2. Operation Conditions of Experimental Studies

| Parameter                                                     | Values  |
|---------------------------------------------------------------|---------|
| Hydraulic Retention Time(Hour)                                | 6-24    |
| Organic Loading rate( kg COD/m <sup>3</sup> .d )              | 0.266-1 |
| Hydraulic Loading Rate ( m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .day) | 1-4     |

## EXPERIMENTAL STUDIES IN THE MODEL REACTOR

The domestic wastewater from a sewer system at ITU campus was used as the feed.

The subjects following were investigated in this study:

- Effects of intermittent feeding on the reactor performance
- Determination of hydraulic flow characteristics of the reactor by the tracer experiments.
- Determination of relations between the hydraulic parameters and the treatment process responses.
- Investigation of reactor biomass characteristics
- Effect of temperature on the process efficiency
- Determination of kinetic parameters for the treatment process.
- Evaluation of final effluent and determination of additional treatment requirement.

## RESULTS AND DISCUSSION

The study was continued about 3 years and carried out in three different stages. Characteristics of the feed were different in each stage as indicated in Table 3. The reactor was not feed between the days 63 to 273 and 378 to 654 from the start-up due to a heavy water shortage in Istanbul and summer holiday in the University. The reactor was operated at 7 different steady state conditions during the study and the related results were summarized in Table 4. Evaluation of the experimental study results were presented below.

### Organic Loading Rate and COD Removal

Organic loading rates were varied in the range of 0.2 to 1 kg COD/m<sup>3</sup>·day during the study. Influent and effluent COD's and related COD removals for each steady state operating conditions were presented in Table 5. Steady state COD removals varied in the range of 67 to 87 % in this study. Effluent COD's were generally 50 mg/l at steady state operating conditions. However, effluent COD's have increased as the influent COD's raised and this resulted in relatively low COD removals. Effluent suspended solid concentrations were generally less than 50 mg/l.

### Temperature, pH and Alkalinity

The two most important indicators of the stability of anaerobic reactors are pH and alkalinity. These parameters were continuously measured during the study. The physico-chemical stability of the reactor was continuously monitored by measuring pH and alkalinity in the reactor. The reactor pH and alkalinity ranges were between 6.4 and 9.7, 100 to 750 mg/l, respectively in the whole study period. Concentration of ammonia were increased when pH raised to about 9 for a particular time period of experimental studies, and this resulted in a substantial reduction of reactor performance. The reactor temperatures were in the range of 30±5 for 5 steady state operating condition while 25±5 °C for the remaining two steady state.

Table 3. Characteristics of Domestic Wastewater as Different Periods of Along the Study

| PARAMETER                                             | I.PERIOD<br>(1-62 <sup>nd</sup> day) | II.PERIOD<br>(274-377 <sup>th</sup> day) | III.PERIOD<br>(655-935 <sup>th</sup> day)                                |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| COD <sub>influent</sub><br>(mg/l)                     | 230-610[445]                         | 67-550[255]<br>32-780[380]               | 216-255[240]<br>55-580[230]<br>90-520[245]<br>140-475[290]               |
| pH                                                    | 6.6-8.6[7.6]                         | 6.3-8.4[7.6]<br>7.6-8.5[8]               | 7.5-8.4[7.9]<br>5.6-9.6[8]<br>6-7.8[7]<br>6.3-8.5[7.7]                   |
| Alkalinity (mg/l)                                     | 150-700[470]                         | 75-600[265]<br>130-500[275]              | 175-275[220]<br>25-600[260]<br>70-250[140]<br>125-360[245]               |
| Organic Loading<br>Rate *<br>(kgCOD/m <sup>3</sup> d) | 0.89 (30 ± 5°C)                      | 0.266-0.375<br>(30 ± 5°C)                | 0.32 (30 ± 5°C)<br>0.69 (20 ± 5°C)<br>0.97 (20 ± 5°C)<br>0.58 (20 ± 5°C) |

[ ] Average value

\* Average organic loading rate along the steady-state

( ) Temperature belong to every steady state

Table 4. Steady State Operating Parameters

| Time from Start-up (day) | Flow Rate(l/d) | $\theta$ (d) | Organic Loading Rate (kg COD/m <sup>3</sup> .d) | Hydraulic Loading Rate, $L_H$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .d) |
|--------------------------|----------------|--------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1-62                     | 20.7           | 0.5          | 0.890                                           | 2                                                                 |
| 274-350                  | 10.8           | 0.96         | 0.266                                           | 1.04                                                              |
| 350-377                  | 22.2           | 0.46         | 0.395                                           | 2.15                                                              |
| 655-674                  | 13.8           | 0.75         | 0.320                                           | 1.33                                                              |
| 675-816                  | 31             | 0.33         | 0.690                                           | 3                                                                 |
| 817-921                  | 41             | 0.25         | 0.970                                           | 3.97                                                              |
| 922-935                  | 20.7           | 0.5          | 0.580                                           | 2                                                                 |

### Reactor Biomass Concentrations

Biomass concentration measurements carried out on samples with drawn from different heights in the UASBR revealed that the distribution of the biomass along the height of the reactor was not uniform. The amount of biomass was gradually decreased as the volumetric or hydraulic loading rate increased. However, the performance of the reactor was not affected significantly even for average biomass concentrations as low as 6000 mg/l and the stability of the treatment process could be maintained.

### Hydraulic Modelling by Tracer Studies

Tracer experiments have been performed with LiCl in order to determine the coefficient of dispersion. LiCl was injected instantaneously into the entrance of the reactor so that the average concentration of Li in the reactor was about 10 mg/l. The Li concentrations at the exit of the reactor were measured for a duration of about three times of the hydraulic retention time in each experiment.

The results from the experimental study were used to Gamma Distribution and Modified Gamma Models. It was observed that these results were more suitable for modified Gamma Distribution Model. The parameters of the cited model were determined as  $\beta = 0.9$ ,  $T = 0.1$ ,  $p = 2$ . Considering these results, the anaerobic upflow sludge blanket reactor system can be hydraulically thought as two completely mixed and one plug flow reactor in series (Figure 1).

When diluted wastewaters, like domestic wastewaters, are treated in anaerobic upflow sludge blanket, generally high hydraulic loadings rate are applied. The findings obtained from Modified Gamma Models show that the UASBR's can be considered as two completely mixed reactor in series for practical applications.

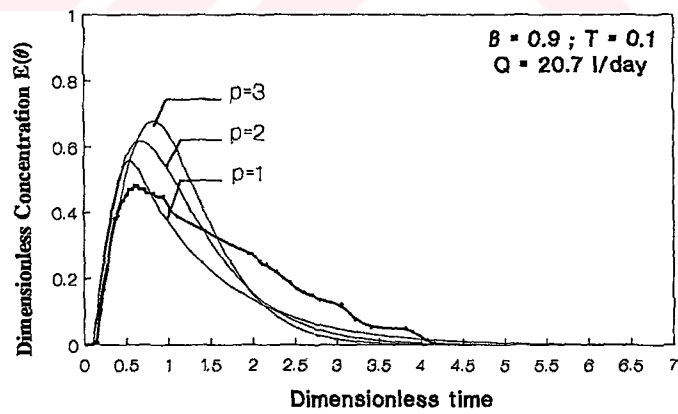
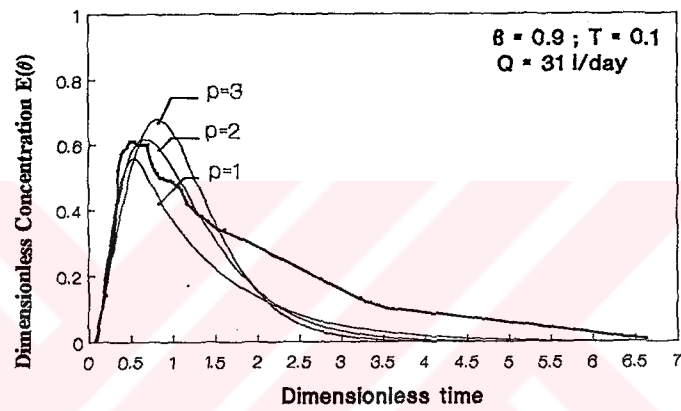
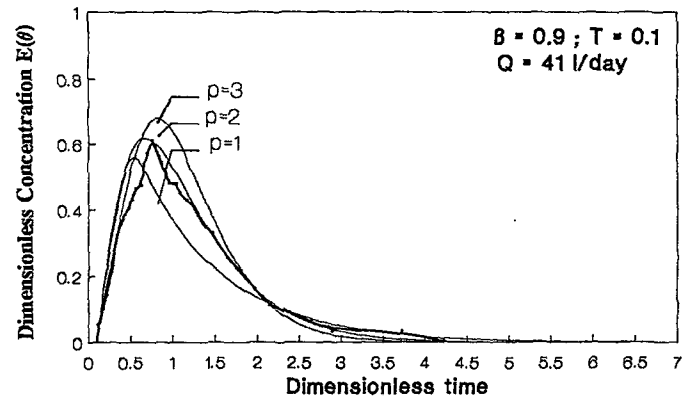


Figure 1. The Comparison of the  $E(\theta) - \theta$  Values Obtained from the Experimental Study and Modified Gamma Models Curves.

## KINETIC EVALUATION

Experimental data from the study were applied to Multiple Variables Linear Correlation and Linearized Second Order Substrate Removal Kinetics Models. It was observed that both models were perfectly fit to the experimental results.

The reaction rate coefficient of the second order COD removal kinetics was determined as  $k_2 = 0.217 \text{ day}^{-1}$  ( $= 0.009 \text{ hour}^{-1}$ ) in this study. This value was lower than  $k_2 = 1.665 \text{ day}^{-1}$  ( $= 0.069 \text{ hour}^{-1}$ ) which was found for the synthetic wastewater with COD's less than 700 mg/l. This result shows that domestic wastewater might be treated with a rate of seven times lower than that of the synthetic wastewater.

Coefficient of correlation for measured and predicted values by the models is 0.928 and the effluent COD from the UASBR can be defined the following equation:

$$S_{model} = S_o \cdot \left(1 - \frac{\theta}{1.346\theta - 0.002}\right)$$

The biodegradability of the wastewater can be identified by linearized model coefficient(6). The values of model coefficients are increased as the biodegradability of the wastewater is decreased.

Table 5. Results of Steady State

| Time(day) | Volumetric Organic Loading Rate<br>(kg COD/m <sup>3</sup> .day) | Influent COD<br>S <sub>o</sub> , (mg/l) | Effluent COD<br>S <sub>1</sub> , (mg/l) | COD Removal Efficiency<br>E(%) |
|-----------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| 1-62      | 0.890                                                           | 445                                     | 98                                      | 78                             |
| 274-350   | 0.266                                                           | 255                                     | 73                                      | 71                             |
| 351-377   | 0.395                                                           | 378                                     | 114                                     | 70                             |
| 655-674   | 0.320                                                           | 240                                     | 70                                      | 71                             |
| 675-816   | 0.690                                                           | 230                                     | 77                                      | 67                             |
| 817-921   | 0.970                                                           | 244                                     | 65                                      | 73                             |
| 922-935   | 0.580                                                           | 290                                     | 76                                      | 74                             |

## POST TREATMENT OF THE UASBR EFFLUENTS

Since the concentration of nitrogen and phosphorus in the effluent from the UASBR are higher than the discharge standards, an additional post treatment may be required. Chemical purification using Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH and cement with and without aeration were applied to the effluent from the UASBR for this purpose. Chemical post treatability studies with Ca(OH)<sub>2</sub> and NaOH were not successful for ammonia removal. On the other hand, chemical treatment with Ca(OH)<sub>2</sub> together with 2

hours of aeration gave satisfactory results. The optimum dosage of  $\text{Ca(OH)}_2$  was determined as 300-350 mg/l (which corresponds to a pH of 11) in the experiments (Table 6). Average removals of TKN,  $\text{NH}_3$  and Total P were 65, 74 and 90 % respectively indicating such a treatment is feasible for practical purposes.

Total coliform concentration of raw domestic wastewater was about  $0.9 \cdot 10^7$  coli/100 ml. This value was decreased to about  $0.2 \cdot 10^6$  in the UASBR effluent and to  $0.2 \cdot 10^5$  after chemical post treatment with  $\text{Ca(OH)}_2$  plus 2 hours of aeration. As a result of this findings, it can be concluded that total coliform removals in the anaerobic and chemical post treatment stages are about 80-94% and 75-98% respectively.

Table 6. Results of Additional Treatment of Anaerobic Effluent (Chemical Treatment and Aeration)

| Anaerobic Effluent |               |     | After $\text{Ca(OH)}_2$ + 2 hours Aeration |               |     |
|--------------------|---------------|-----|--------------------------------------------|---------------|-----|
| TKN                | $\text{NH}_3$ | P   | TKN                                        | $\text{NH}_3$ | P   |
| 24.10              | 24            | 2.7 | 8.4                                        | 6.2           | 0.3 |
| -                  | 9             | 1.6 | 4.15                                       | 2.97          | 0.3 |
| 34                 | 33.7          | 2.3 | 17                                         | 16            | 0.4 |
| -                  | 53            | -   | -                                          | 30            | -   |

## CONCLUSIONS

The results at this study can be summarized as follows:

- Hydraulic characteristics of the UASBR's can be defined by the modified Gamma Distribution Model. Tracer study results have shown that, the UASBR used in this study can hydraulically be considered as a completely mixed and one plug flow compartments in series. The volume of the plug flow compartment constitutes about % 10 and the whole system may be considered as 2 completely mixed reactors in series for the practical applications.
- Domestic wastewaters can be anaerobically treated in mesophilic UASBR's with COD removals about 70% without any chemical addition.
- The concentration of the steady state biomass in the UASBR's are balanced about 20 000 mg/l for domestic effluents and the excess biological sludge production is almost negligible.
- The biomass in UASBR's treating domestic effluents are flocculent in type not in granular structure.

- The reactor effluent suspended solids concentration are very low and rarely exceeds 50 mg/l.
- COD's in the UASBR effluents are generally about 50 mg/l at steady state and rarely reached to 70 mg/l for transient conditions.
- Concentrations of ammonia, phosphorus and total coliforms in the UASBR effluent are not satisfied discharge standards to surface waters. Chemical post treatment by  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  with 2 hours of aeration provide significant reductions both in ammonia and phosphorus.
- Anaerobic treatability study results from the UASBR perfectly fit the second order multiple substrate kinetic and multivariate linear correlation models at steady state operating conditions.



## BÖLÜM 1. GİRİŞ

### 1.1. ÇALIŞMANIN ANLAM VE ÖNEMİ

Havasız arıtma sistemleri, sağladığı yararlar dolayısıyla evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında gün geçtikçe daha geniş kullanım alanı bulmaktadır. Havalı arıtma sistemlerindeki enerji, işletme ve bakım maliyetlerinin artması sonucu biyoenerji üretilen havasız arıtma sistemlerinin geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır. Endüstriyel atıksularda yıllardır yapılagelen laboratuvar, pilot ve gerçek ölçekli tesislerdeki çalışmalarla kullanılabilirliği kanıtlanan havasız arıtma sistemleri, son yıllarda evsel atıksu arıtımı için de yoğun şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Aslında evsel atıksuların havasız arıtımı ile ilgili çalışmalar yeni değildir ancak başlangıçta evsel atıksular için havasız arıtma ekonomik bulunmamıştır. Evsel atıksuların havasız sistemlerle arıtımı ile ilgili günümüze kadar yapılmış çalışmalar, bu atıksuların havasız arıtılabilirliğini göstermekle birlikte, bu konuda henüz yeterli veri ve bilgi birikimi mevcut değildir. Son yıllarda çeşitli ülkelere evsel atıksuların doğrudan havasız çamur yatağı sisteminde arıtılması ile ilgili fizibilite çalışmaları başlatılmıştır. Halihazırda, havasız arıtma sistemleri ile evsel atıksuların arıtımı ile ilgili olarak özellikle Güney Amerika ülkeleri başta olmak üzere çeşitli pilot uygulamalar bulunmaktadır.

Evsel ve eşdeğeri seyreltik atıksuların havasız arıtımı tabii ortam sıcaklıklarında (15-20 °C) ısıtma olmaksızın da yeterli hızda sürdürülmektedir. Havasız arıtma sistemlerinin kesikli ve mevsimlik işletme şartlarından çok az etkilenmesi özellikle mevsim başlarında işletmeye alma sorununu ortadan kaldırmaktadır. Havalandırmaya

gerek olmaması ve havalı arıtmaya göre çok az miktarda çamur oluşması bu tür sistemleri ekonomik hale getiren başlıca faktörlerdir.

Bu çalışmada evsel atıksuların Havasız Çamur Yatağı (HÇY) sisteminde arıtım esasları ile arıtma prosesini kontrol eden teknolojik parametreler araştırılmıştır. Çalışmadan özellikle ülkemizin sıcak ve ılıman iklim kuşağındaki yerleşim birimlerinin evsel atıksu arıtma sorunlarının çözümüne ışık tutucu veriler elde edilmesi hedeflenmiştir. Deneysel ağırlıklı bu araştırmayla, arıtma çamurlarının çürütülmesi dışında oldukça sınırlı olan evsel atıksuların havasız arıtımı alanındaki bilgilerin tamamlanması ile gerek proses ve gerekse reaktör hidroliği ile ilgili veri eksikliklerinin giderilmesine katkıda bulunması beklenmektedir.

## 1.2. ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

Bu çalışmanın amacı, evsel atıksular gibi seyreltik atıksuların Havasız Çamur Yatağı Prosesi ile arıtılabilirliğinin incelenmesi, sistem verimine etki eden hidrolik ve kinetik büyüklüklerin tesbiti ve deneysel verilerden yararlanarak ülkemizin sıcak ve ılıman iklim kuşağında bulunan yöreleri için paket bir arıtma sisteminin geliştirilmesidir. Bu amaçla daha önce işletmeye alınmış bir sistemde yaklaşık üç yıl süren bir deneysel araştırma yapılmıştır.

Bu çalışmada, İTÜ kampüsü içindeki Çevre Mühendisliği Bölümü Pilot Tesisler laboratuvarına yakın bir kanalizasyon bacasından alınan evsel nitelikli atıksular kullanılmıştır. Tezin belirlenen kapsamı doğrultusunda başlıca aşağıdaki konular araştırılmıştır:

- Kesikli beslemenin sistem verimine etkileri
- Reaktörün hidrolik özelliklerinin iz madde deneyleri ile tesbiti
- Evsel atıksuların havasız arıtımında hidrolik parametrelerle arıtma prosesi arasındaki ilişkilerin belirlenmesi
- Çamur özelliklerinin incelenmesi
- Sıcaklığın verime etkisi

- Arıtma prosesini karakterize eden kinetik büyüklüklerin tesbiti
- Çıkış suyunun alıcı ortama deşarj standartları yönünden değerlendirilmesi ve ilave arıtma ihtiyacının belirlenmesi



## **BÖLÜM 2. HAVASIZ ARITMANIN ÖZELLİKLERİ**

### **2.1. GİRİŞ**

Havasız arıtma bir asırdan daha uzun bir süredir kullanılan en eski biyolojik atıksu arıtma proseslerinden biridir. Çürütücülerdeki ısıtma ve karıştırma sistemlerinin gelişimi ile havasız arıtma çamur stabilizasyonu için en yaygın metodlardan biri haline gelmiştir. Havasız arıtmanın havalı arıtmaya göre olan üstünlüklerinin ortaya konması, orta derecede kirli ve seyreltik nitelikli çözünebilir atıksular ile kolloidal yapıdaki (örn. evsel atıksu) atıksuları arıtabilmek için yeni reaktör tiplerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Proses mühendisliğindeki ilerlemeler kimya, biyokimya ve mikrobiyolojideki son gelişmelerle desteklenmiştir. Bu bölümde günümüzde giderek vazgeçilemez ve çevre dostu bir arıtma teknolojisi halini alan havasız arıtma sürecinin mekanizması ve özellikleri ortaya konmaktadır.

### **2.2. HAVASIZ ARITMANIN ESASLARI**

Havasız arıtma, kompleks ve askıda organik maddelerin havasız ortamda ayrışması esnasında meydana gelen seri ve paralel çok adımlı biyokimyasal reaksiyonlardan oluşan biyolojik bir prosestir. Bu proseste ilkönce polisakkaritler, protein ve lipidler gibi polimerik yapıdaki kompleks maddeler hücre dışı enzimler vasıtasıyla daha küçük boyutta ve hücre zarından geçebilecek çözünebilir ürünlere dönüşürler (Şekil 2.1). Nisbeten basit ve çözünebilir yapıdaki bu bileşikler fermentasyon veya anaerobik oksidasyonla kısa zincirli yağ asitlerine, alkollere, karbondioksite, hidrojene ve amonyaga dönüşürler. Asetat dışındaki kısa zincirli yağ asitleri de asetata, hidrojen gazına ve karbondioksite dönüşürler. Prosesin son safhasında asetatin parçalanması veya  $H_2$  ile  $CO_2$ 'nin sentezi yoluyla  $CH_4$  üretimi gerçekleştirilir [1],[2].

Kompleks organik maddelerin havasız ayrışması yedi alt adımda gruplandırılabilir:

1. Protein, yağ ve karbonhidratların hidrolizi
2. Şeker ve amino asitlerin fermentasyonu
3. Uzun zincirli yağ asitleri ve alkollerin havasız oksidasyonu
4. Ara ürünlerin havasız oksidasyonu
5. Karbondioksit ve hidrojenden asetat üretimi
6. Asetatın metana dönüşümü
7. Hidrojenin metana dönüşümü

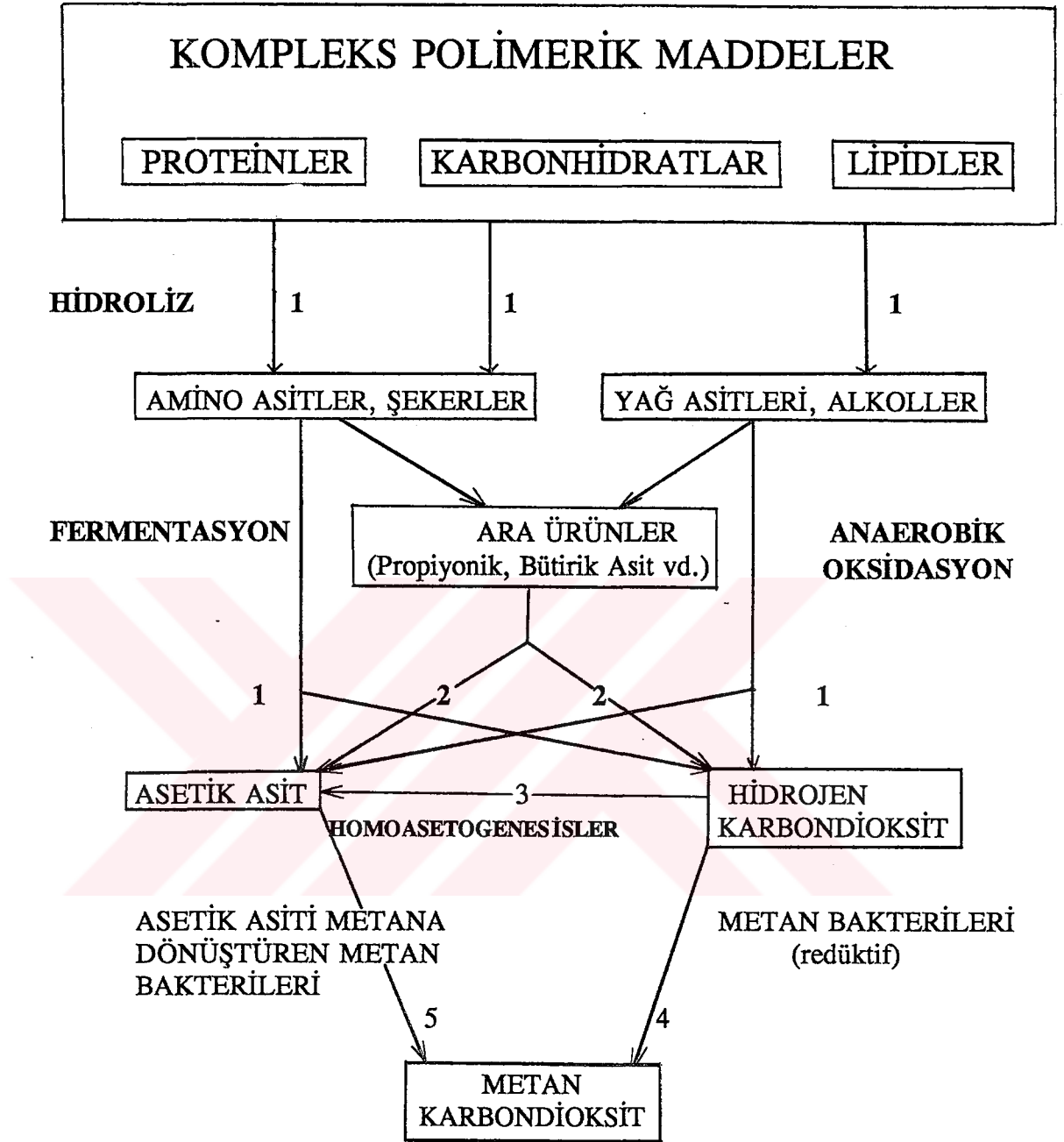
Kompleks bir atığın havasız arıtımındaki reaksiyon hızı, çözünmez halde olan fakat biyolojik olarak ayrışabilen moleküllerin parçalanma hızının yanısıra reaktördeki bakteri tipine ve atığın özelliklerinin bir fonksiyonu olan besi maddesi dönüşüm verimi ile reaktörün pH ve sıcaklığına bağlıdır. Yapılan çalışmalar havasız arıtmada açığa çıkan  $\text{CH}_4$ 'ın  $\approx$  % 70'ının  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , % 30'unun  $\text{H}_2 + \text{CO}_2$  yoluyla üretildiğini göstermektedir.

### 2.2.1. Havasız Arıtmanın Mikrobiyolojisi

Havasız arıtma birçok mikroorganizma grubunun rol aldığı oldukça kompleks bir prosestir. Bununla birlikte başlıca iki grup bakterinin (asit ve metan bakterileri) esas görevi üstlendiği bilinmektedir. Bu iki grupta kendi arasında alt gruplara ayrılmaktadır (Tablo 2.1.).

Tablo 2.1. Başlıca Havasız Mikroorganizma Grupları

|                   |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|
| ASİT BAKTERİLERİ  | Bütirik ve Propiyonik Asit Üretenler |
|                   | Asetik Asit Üretenler                |
| METAN BAKTERİLERİ | Asetik Asit Kullananlar              |
|                   | Hidrojen Kullananlar                 |



Şekil 2.1. Polimerik Yapıdaki Maddelerin Havasız Ayrışma Safhaları

1. Fermentasyon Bakterileri  
2.  $H_2$  Üreten Bakteriler  
3.  $H_2$  Kullanan Bakteriler

4.  $CO_2$  Kullanan Metan Bakterileri  
5. Asetik Asit Kullanan Metan Bakterileri

### 2.2.2. Hidroliz

Hidroliz hücre dışı enzimlerle gerçekleştirilen oldukça yavaş bir süreçtir. Reaksiyon hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve çamur yaşıdır. Yağlar çok yavaş hidrolize olduğundan yağ ve diğer yavaş hidrolize olan maddeleri içeren atıksuların havasız arıtımında hidroliz hız sınırlayıcı adım olabilmektedir [3]. Havasız arıtmada hidroliz, organik madde özellikleri, reaktör tipi, sıcaklık ve yüklemenden etkilenmektedir.

#### Askıda Organik Maddelerin Hidrolizi

Organik polimerik yapıdaki maddeler, çözünebilir hale gelmedikçe hücre zarından geçemedikleri için mikroorganizmalarca kullanılamazlar. Bundan dolayı havasız arıtmanın ilk adımı bu tür kompleks organik maddelerin daha basit maddelere dönüştürülmesidir. Kimyasal bileşimleri açısından, üç tür kompleks organik madde bileşeni vardır: Karbonhidratlar, Proteinler ve Lipidler.

Ayrışabilir askıda organik maddelerin hidroliz hızını tanımlamada en çok kullanılan ifade aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir. Bu ifade de hidroliz hızı 1.mertebeden bir reaksiyon olarak kabul edilmiştir.

$$\frac{dF}{dt} = -k_h \cdot F \quad (2.1)$$

Burada; F = Ayrışabilir organik madde konsantrasyonu (M L<sup>-3</sup>)

$k_h$  = Hidroliz hızı katsayısı (T<sup>-1</sup>) dir. Kesikli bir reaktör için bu ifade aşağıdaki hali alır.

$$F = F_0 e^{-k_h t} \quad (2.2)$$

Tablo 2.2. Havasız Ayrışmanın Herbir Adımında Etkili Olan Bakteriler [4]

|                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Proteinleri amino asit ve şekere dönüştüren bakteriler:</b><br><i>Clostridium, Proteus vulgaris, Peptococcus, Bacteriodes, Bacillus, Vibrio</i>                                                                                                     |
| <b>Karbonhidratları amino asit ve şekere dönüştüren bakteriler:</b><br><i>Clostridium, Acetovibrio cellulities, Staphylococcus, Bacteriodes</i>                                                                                                        |
| <b>Lipidleri yüksek moleküllü yağ asitleri, alkoller, amino asit ve şekere dönüştüren bakteriler:</b><br><i>Clostridium, Staphylococcus, Micrococcus</i>                                                                                               |
| <b>Amino asit ve şekerleri yüksek moleküllü yağ asitleri ve alkollere dönüştüren bakteriler:</b><br><i>Zymomonas mobilis</i>                                                                                                                           |
| <b>Amino asitleri doğrudan asetata dönüştüren bakteriler:</b><br><i>Lactobacillus, Escherichia, Staphylococcus, Micrococcus, Bacillus, Pseudomonas, Desulfovibrio, Selenomonas, Veillonella, Sarcina, Streptococcus, Desulfobacter, Desulfuromonas</i> |
| <b>Aminoasitleri ara ürünlere dönüştürenler:</b><br><i>Clostridium, Eubacterium, Streptococcus</i>                                                                                                                                                     |
| <b>Yüksek moleküllü yağ asitlerini ve alkollerini ara ürünlere dönüştürenler:</b><br><i>Clostridium, Syntrophomonas wolfei</i>                                                                                                                         |
| <b>Ara ürünleri Asetat ve hidrojene dönüştürenler:</b><br><i>Syntrophomonas wolfei, Syntrophobacter wolinii</i>                                                                                                                                        |
| <b>Asetatı hidrojene dönüştürenler:</b><br><i>Clostridium aceticum</i>                                                                                                                                                                                 |
| <b>Asetatı metana dönüştüren bakteriler:</b><br><i>Methanotheris, Methanosarcina, Methanospirillum</i>                                                                                                                                                 |
| <b>Hidrojeni metana dönüştüren bakteriler:</b><br><i>Methanobacterium, Methanobrevibacterium, Methanoplanus</i>                                                                                                                                        |

Kararlı haldeki bir tam karışımli reaktör için ise aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$F = \frac{F_o}{1 + k_h \theta} \quad (2.3)$$

Bu ifadelerde,

$F_o$  = Başlangıçtaki ayrışabilir askıda organik madde konsantrasyonunu  
(ML<sup>-3</sup>)

$\theta$  = Hidrolik bekletme süresini (T)

$t$  = Başlangıçtan itibaren zamanı (T)

göstermektedir.

### **Karbonhidratların Hidrolizi**

Sellüloz, yarı sellüloz ve ligninler doğada oldukça fazla bulunan organik birleşiklerdir. Bu maddeler bataklıklarda, otoburların barsaklarında ve havasız çürütücülerde havasız ayrışmaya maruz kalırlar. Sellüloz ürünlerinin hidrolizi cellobiose ve glikozdur. Yarı sellüloz olan maddeler pentoz, heksos ve urik asite hidrolize olurlar. Lignini oluşturan monomerler en az beş farklı tarzda bir araya gelebilmekte ve bunlardan hiçbirisi de anaerobik olarak kolayca hidroliz olmamaktadır. Bu yüzden lignin içeren sellülozlu maddelerin ayrışmasında, ligninin parçalanması hız sınırlayıcı adımdır.

### **Proteinlerin Hidrolizi**

Proteinler hücre dışı enzimlerle polipeptid ve amino asitlere hidrolize olurlar. Lackey ve Hendrickson(1958)'e göre proteinlerin enzimatik parçalanması aşağıdaki şekildedir [5].

Proteinler → Protein Parçalayan Enzimler → Peptonlar → Peptidler → Amino Asitler

Proteinlerin hidrolizi sonucu üretilen amino asitler daha sonra uçucu yağ asitleri, karbondioksit, hidrojen gazı, amonyak ve sülfür( $S^{-2}$ ) fermente olurlar. Hidroliz ve fermentasyon genellikle farklı mikroorganizma grupları tarafından gerçekleştirilir. Havasız ayrışmanın son safhasında sulfat indirgeyen bakteriler ve hidrojen kullanan metan bakterileri  $H_2$  kullanım bakımından rekabet halinde bulunurlar.

### **Lipidlerin Hidrolizi**

Lipidler suda çözünmeyen ancak organik çözücülerde çözünebilen heterojen organik bileşiklerdir. Yağ asitleri  $\beta$  oksidasyonu ile ayrışırlar. Genel formülleri  $CH_3(CH_2)_n COOH$  dir.  $\beta$  oksidasyonu ile asidin  $-COOH$  kökünden asetil grupları ardışık olarak ayrılarak asetik asit ve hidrojene dönüşür. Uzun zincirli yağ asitlerinin havasız süreçlerle asetata dönüştürülmesi sistemin gaz üretimi ve KOİ giderimi bakımından hız sınırlayıcı durumdadır. Evsel atıklar, mezbahalar ve et paketleme tesisleri atıkları büyük miktarlarda lipid içermektedir. Lipidlerin ayrışmasına ait halen kesin ve yeterli bilgi birikimi mevcut değildir. Lipidler hakkında en faydalı bilgiler, otobur hayvanların barsakları ile ilgili çalışmalardan sağlanmaktadır.

## **2.2.3. ASİT VE METAN ÜRETİMİ**

### **2.2.3.1. Asit Üretimi**

#### **Çözünebilir Karbonhidratların Fermentasyonu**

Mono ve disakkarit gibi çözünebilir karbonhidratlar hakkındaki bilgiler barsak bakterileri ile ilgili çalışmalardan elde edilmiştir. Metan bakterilerinin olmadığı ortamda anaerobik bakteriler vasıtasıyla karbonhidratların fermentasyonunun başlıca ürünleri, etanol,  $H_2$  ve  $CO_2$  dir. Bununla birlikte  $H_2$  kullanan bakterilerin bulunması durumunda etanolde indirgenme ve asetat üretiminde bir artış gözlenir. Bu olay

hidrojen konsantrasyonunun etkin olarak azaldığı durumlarda türler arası hidrojen transferinin gerçekleştiği ve  $H^+/H_2$  çiftinin redoks potansiyelinin artışı teorisi ile açıklanmaktadır [1].

### **Amino Asitlerin Fermentasyonu**

Amino asitlerin fermentasyonu redoks reaksiyonlarını da içeren oldukça karmaşık bir prosestir. İndirgeme reaksiyonunda, havasız bakteriler tarafından kullanılan başlıca elektron alıcısı amino asitler, keto asitler ve doymamış asitlerle protonlardır. Amino asitlerin fermentasyonunun son ürünleri, kısa zincirli yağ asitleri, suksinik asit ve hidrojen gazıdır.

### **Uzun Zincirli Yağ Asitlerinin Anaerobik Oksidasyonu**

Yağlar suda çözünmeyen ancak, organik çözücülerde çözünebilir heterojen organik bileşiklerdir. Lanolin ve benzeri bazı yağ türleri havasız ayrışma prosesi ile parçalanmamaktadır.

Yağ asitlerinin genel formülleri  $CH_3 (CH_2)_n COOH$  olup  $\beta$  oksidasyonu ile ayrıştırılırlar.  $\beta$  oksidasyonu ile asidin  $-COOH$  kökünden asetil grupları ardışık olarak kopararak asetik asit ve  $H_2$ 'e dönüştürülür. Anaerobik  $\beta$  oksidasyonu yolu ile doymuş ve 14 ve 18 karbonlu yağ asitleri önce asetata müteakiben de  $CO_2$  ve  $CH_4$ 'e dönüştürülür.

Evsel arıtma çamurları genellikle yüksek miktarda lipid ve serbest yağ asitleri içerirler. Serbest yağ asitleri veya lipidlerin hidrolizi sonucu üretilen maddeler anaerobik bakteriler tarafından parçalanırlar. Uzun zincirli yağ asitlerinin anaerobik oksidasyonunda moleküler hidrojen elektronlar için büyük öneme sahiptir[2]. Uzun zincirli yağ asitlerinin fermentasyonu sonucu oluşan kısa zincirli yağ asitleri ya sadece asetik asit ya da asetik asit ve propiyonik asittir.

Novak ve Carlson (1970) tarafından kentsel arıtma tesisinden alınan çamurlar kullanılarak, karbon kaynağı yalnızca uzun zincirli yağ asiti olan zenginleştirilmiş kültür geliştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda doymuş yağ asitlerinin zincir uzunluğu artıkça, doymamış yağ asitlerinin ise doyma derecesi azaldıkça parçalanma hızlarının azaldığı ortaya konmuştur [6].

Chynoweth ve Mah (1971) palmitik asitin proteinden (hydrolsate) 11 kez, glikozdan ise 80 kez daha hızlı parçalandığını belirtmişlerdir. Palmitik asitin oksidasyonu sonucu oluşan ürünlerden başlıcası asetat olup daha küçük miktarlarda formik asit, bütirik asit ve propiyonik asit üretilir. Bu araştırmacılara göre bekletme süresinin çamur yaşından daha büyük olması halinde birlikte uzun zincirli yağ asitlerinin oksidasyonu ve lipidlerin fermentasyonunun protein ve karbonhidratların parçalanma hızından daha hızlı olabilmektedir [7].

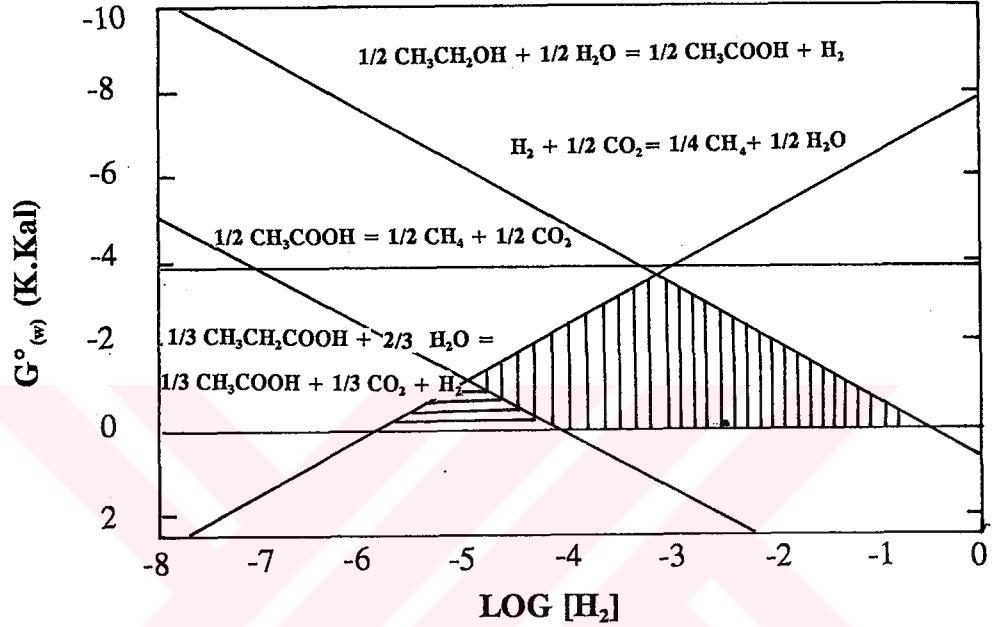
#### **Kısa Zincirli Yağ Asitlerinin Anaerobik Oksidasyonu**

Kısa zincirli yağ asitlerinin anaerobik oksidasyonunun başlıca ürünleri asetat ve hidrojen gazıdır [8],[9]. Esas karbon ürünü asetat olduğundan bu reaksiyonlar asetogenesis olarak adlandırılır. Kısa zincirli asitlerin ayrışmasının başarılı olması için sistemde üretilen hidrojen gazının etkili şekilde giderimi gereklidir. Sistemde  $H_2$  konsantrasyonunun artması;

- Toplam asit üretimi hızının düşmesine yol açar. Bu halde sistemin kararlı hale dönebilmesi için ilave zamana ihtiyaç duyulur.
- Bütirik ve propiyonik asit konsantrasyonlarının artmasına sebep olur. Bu da asetik asit üretimini ve asetat kullanan metan bakterilerinin  $CH_4$  üretilmelerini engeller.
- $H_2$  konsantrasyonunun daha da artması propiyonik asit üretimini hızlandırır ve sistemde pH düşer.

Hidrojen üreten ve kullanan bakteriler için hidrojenin kısmi basıncı ile serbest enerji seviyesi arasındaki ilişkinin önemini daha net bir şekilde açıklamaktadır(Şekil 2.2) [10]. Buna göre propiyonik asitin asetik asit ve hidrojene parçalanabilmesi için

ortamdaki  $H_2$ 'nin kısmi basıncının  $10^{-6}$  atmosferi aşmaması gerekmektedir. Bu düşük basınç ortamında  $H_2$  kullanan metan bakterileri için gerekli enerji kısmi basıncın 1 atmosfer olması haline göre önemli ölçüde azaltılmış olmakta ve sonuç olarak reaksiyon kolaylaştırılmaktadır. Diğer bir deyişle birim hacim hidrojeni kullanmak için gerekli bakteri miktarı daha da azalmaktadır.



Şekil 2.2.  $H_2$  Kısmi Basıncının Metan Üretimi Sürecindeki Önemi

### 2.2.3.2. Metan Üretimi

#### Asetat, Hidrojen ve Karbondioksitten Metan Üretimi

Asetat metan üreten bakteriler için en önemli besin kaynağıdır. Evsel çamurların çürütüldüğü reaktörlerde metan üretiminin % 65 - 70'i asetat metil grubunun indirgenmesi sonucu elde edilir [11],[12].

Hidrojen kullanan metan bakterileri  $H_2$  ve  $\text{CO}_2$  kullanarak  $\text{CH}_4$  Üretirler. Evsel atıksuların çürütüldüğü reaktörlerdeki metan üretiminin 1/3'ü  $H_2$  kullanarak  $\text{CO}_2$ 'nin indirgenmesi ile meydana gelse de, hidrojenin kısmi basıncını kontrol ederek

H<sub>2</sub> üreten reaksiyonların hızı değiştirilmediğinden türler arası hidrojen transferi ve kullanımı çok önemlidir.

### 2.3. İŞLETMEYE ALMA VE PROSES KONTROLU

Havasız süreçlerin yaygın kullanımını engelleyen en önemli faktörler, havasız mikroorganizmaların çoğalma hızlarının düşük olması sebebiyle bu sistemlerin havalı sistemlere göre işletmeye alma sürelerinin nisbeten uzun ve proses kontrolünün daha hassas oluşudur. Havasız arıtmada proses kontrolünün amaçları şu şekilde verilebilir.

- \* Metan dönüşümünün maksimizasyonu
- \* Proses sonucu oluşan çamur miktarının azaltılması

Yukarıda belirtilen amaçların gerçekleşebilmesi için optimum çevre şartlarının sağlanması ve uygun mikroorganizma türlerinin üretilmesi gereklidir. Bu da sistemin dikkatlice izlenmesi ve proses parametrelerinin kontrolü ile mümkündür.

#### 2.3.1. İŞLETMEYE ALMA

Havasız sistemlerin işletmeye alınmasında karşılaşılan en büyük sorun arıtılacak atığa uygun mikroorganizma grubunun üretilmesidir. İstenen özellikte mikroorganizma topluluğunun olması halinde işletmeye alma süresi çok kısalmır. Elde bu nitelikte aşı çamurunun olmaması durumunda evsel atıksu arıtma tesisi çürütücüsü veya, Imhoff tankından alınan çamurla hatta hayvan gübresiyle aşılama yapılabilir. Havasız ayrışmayı gerçekleştiren mezofilik mikroorganizmalardan gerektiği şekilde yararlanmak için reaktörde optimum çevre şartlarının sağlanması gerekir.

Tablo 2.3. Havasız Mikroorganizmalar İçin Optimum Şartlar

| Parametre                      | Optimum Şartlar                                                                                                                              |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Arıtılan Atığın Bileşimi       | Karbon, temel besi maddeleri (N,P) ve iz elementler bakımından dengeli olmalı. Oksitleyici maddeler, toksik ve inhibitör maddeler içermemeli |
| KOİ / N / P                    | 300 / 5 / 1                                                                                                                                  |
| pH                             | 6.8 - 7.4                                                                                                                                    |
| Sıcaklık                       | 30 - 40 (35 - 37) °C                                                                                                                         |
| Alkalinite                     | 1000 - 4000 (2000) mg/l CaCO <sub>3</sub>                                                                                                    |
| Toplam Uçucu Asit              | < 1000 - 1500 mg/l asetik asit                                                                                                               |
| Toplam Uçucu Asit / Alkalinite | < 0.1                                                                                                                                        |

Havasız bir reaktörün bozulmaya başladığı uçucu asit konsantrasyonunun ani artışı ile kendini belli eder. Uçucu asit artışının nedeni ise şok yükler, besi maddesi eksikliği ve sisteme inhibitör maddelerin karışması olabilir. Uçucu asitlerin en az problemlisi asetik asit en çok problemlisi ise propiyonattır. Sistem alıştırılsa bile 3000 mg/l'nin üzerindeki propiyonik asit konsantrasyonlarında metan bakterileri belli ölçüde inhibe olmaktadır.

Havasız şartlarda sülfat ve kükürdün diğer okside olmuş bileşikleri kolayca (H<sub>2</sub>S ve HS<sup>-</sup>'e) indirgenirler. Mikrobiyolojik faaliyetler sonucu katyonik yapılarına bağlı olarak çözünabilir veya çözünemez forma getirilebilirler. Metal sülfatların çoğu gibi tuzlar çözünmez forma getirilebilirlerse sistem üzerindeki etkileri ihmal edilebilir. Demir ilavesi ile çözültiden S<sup>2-</sup> iyonları giderilerek sülfat inhibisyonu belli ölçüde kontrol altına alınabilir [13].

Mikrobiyolojik faaliyetleri durduran ya da yavaşlatan zararlı maddelerin işletmeye alma esnasında da dikkatlice kontrolü gerekir. Çeşitli zararlı maddelerin havasız ayrışma sürecini ileri derecede yavaşlatan konsantrasyonları Tablo 2.4' de verilmiştir.

### 2.3.2. HAVASIZ SİSTEMLERİN İZLENMESİ VE KONTROLÜ

Havasız bir sistemde beklenen verimin elde edilebilmesi için sistem parametreleri dikkatlice izlenmeli ve gerekli tedbirler zamanında alınmalıdır. Etkin bir işletme ve izleme sonucu yüksek verimli bir arıtma sağlandığı gibi, metan dönüşüm oranının maksimum kılınması ve olabildiğince az arıtma çamuru elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Proses kontrolundan maksat, sistemde meydana gelen düzensizliklerin mümkün olan en kısa sürede tesbitidir. Havasız arıtmada proses kontrolü bakımından izlenmesi gereken parametre ve izleme sıklıkları Tablo 2.5' de verilmiştir.

Havasız arıtmada proses dengesizliği sözkonusu olduğu zaman toplam uçucu asit ve  $\text{CO}_2$  yüzdesinde ani artış, pH, alkalinite, gaz debisi ve  $\text{CH}_4$  yüzdesinde ani azalma görülür. Bu tür dengesizlikler oluştuğunda organik yük azaltılarak ve gerekiyorsa NaOH, Kireç,  $\text{NaHCO}_3$  gibi kimyasal maddeler kullanılarak pH istenilen değere ayarlandıktan sonra dengesizliğin sebebi belirlenmelidir. Kısa süreli bir dengesizlik sözkonusu ise optimum çevre şartları sağlanmak suretiyle süratle önceki şartlara ulaşılır.

Tablo 2.4. Zararlı Maddelerin Havasız Ayrışma Sürecini Etkileyen Seviyeleri  
[14],[15],[16]

| Madde                                                           | Zararlı Konsantrasyon Seviyesi, mg/l |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| NH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>                               | 1500 - 2000 ( pH > 7.5)              |
| Çözülmüş H <sub>2</sub> S, HS <sup>-</sup> , S <sup>-2</sup>    | 100 - 150                            |
| Na                                                              | 4000 - 6000                          |
| K                                                               | 3000 - 5000                          |
| Ca <sup>+2</sup>                                                | 3000 - 5000                          |
| CN <sup>-</sup>                                                 | 0.5 - 1.0                            |
| Alkil benzen sülfanat                                           | 500 - 7000                           |
| Magnezyum                                                       | 1000 - 1500                          |
| Kloroform                                                       |                                      |
| . Kağıt Sanayi Atıksularının Havasız Arıtımında                 | > 50                                 |
| . Asetat Kullanan metan bakterileri ilk kez maruz kaldıklarında | ≥ 2.5                                |
| Monensin                                                        |                                      |
| . Alıştırılmamış kültür                                         | > 1                                  |
| . Tedricen alıştırılmış kültür                                  | > 100                                |
| Cu                                                              | 150-250<br>500<br>1000               |
| Ni                                                              | 200<br>1000                          |
| Zn                                                              | 1000<br>350                          |
| Cr                                                              | 2000<br>200                          |

Tablo 2.5. Proses Kontrolunda İzlenmesi Gereken Parametreler

| Parametreler                                             | Tavsiye Edilen İzleme Sıklığı |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Sıcaklık                                                 | Sürekli                       |
| pH                                                       | Sürekli                       |
| Alkalinite                                               | Günlük                        |
| Toplam Uçucu Asit                                        | Haftada 3 kez                 |
| Gaz Debisi                                               | Sürekli                       |
| Gaz Kompozisyonu (%CH <sub>4</sub> , % CO <sub>2</sub> ) | Haftada 3 kez                 |
| Organik Yük, KOİ                                         | Haftada 3 kez                 |
| Çamur Yaşı                                               | Haftada 1 kez                 |

### Prosesteiki Dengesizliklerin Kaynakları ve Çözüm Yolları

Havasız sistemlerde proses dengesizlikleri kısa ve uzun süreli olmak üzere iki grupta toplanabilir. Kısa süreli dengesizlikler; ekipman arızaları, sıcaklıktaki ani değişiklikler, organik yükteki ani artış, atığın bileşimindeki değişikliklerden ileri gelmektedir.

Uzun süreli kararsızlıklar ise; atıksuyun bileşimindeki toksik etkiye sahip maddelerden, beslenen atıksuyun veya reaktörün pH'sındaki ani düşüş, alıştırma devresindeki mikroorganizma çoğalma hızının yavaş oluşu gibi faktörlerden biri veya birkaçının sonucu olabilir.

### Havasız Reaktörlerde Prosesin Yeniden Kararlı Hale Getirilmesi

Kararsız hale gelen reaktörü normal işletme şartlarına getirmek için yapılması gereken işlemler; pH'nın nötr değer civarına getirilmesi, kararsızlığa yol açan sebeplerin belirlenmesi, kararsızlık sebeplerinin uygun önlemlerle giderilmesi, sistem kararlı hale gelinceye kadar pH'ın dikkatlice izlenmesi olarak özetlenebilir. pH'yı nötr değere getirmek için pH değerine bağlı olarak kireç veya NaOH, NaHCO<sub>3</sub> ilave edilebilir.

Kararsızlık gözlenen bir reaktörde bazı hallerde fazla  $\text{HCO}_3$  ilave edilerek pH'nın ayarlanmasına ve organik yükün önemli oranda azaltılmasına, hatta beslemenin durdurulmasına rağmen sistemdeki uçucu asit konsantrasyonu düşmeyebilir. Bu uçucu asitin propiyonik asit ağırlıklı olduğunu gösterir. Bu durumda uçucu asit dengesini sağlamak için sistemin iyice seyreltilmiş atık veya bazen musluk suyu ile beslenmesi yoluna gidilebilir. Sistemdeki uçucu asit asetik asit ağırlıklı ise organik yükün azaltılması veya beslemenin durdurulması ile birlikte mikroorganizmalarca süratle tüketilerek normal seviyelere düşer. Uçucu asit konsantrasyonu normale döndükten sonra organik yük yeniden tedrici olarak artırılarak sistemin işletme yüküyle çalışması temin edilir.

Gaz debisindeki azalma ve metan yüzdesindeki düşüş reaktördeki kararsızlığın iyi bir göstergesidir. Metan yüzdesinin % 65'in altına düşmesi ileri derecede bir kararsızlık göstergesidir. İyi işletilen bir reaktörde metan yüzdesi % 70'in üstündedir [13].

### 2.3.3. HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI REAKTÖRLERDE İŞLETMEYE ALMA VE PROSES KONTROLÜ

#### İşletmeye Alma

**Aşı Kaynağı:** Havasız çamur yataklı bir reaktörün kısa sürede işletmeye alınabilmesi için kullanılan aşı çamuru çok önemlidir. Aşı materyali arıtılacak atıksuyun içindeki organik maddeleri hızlıca ayrıştırabilir ve iyi kalitede granüllerin oluşmasını sağlar.

**a) Granüle çamur:** Aşı çamuru olarak Batı Avrupa, Kanada ve Amerika'da yaygın olarak çalışır durumda bulunan reaktörlerden alınan granüle çamur kullanılır. İşletme halinde çok fazla HÇYR olduğundan bu reaktörlerin fazla çamuru depolanır ve yeni reaktörler işletmeye alınırken kullanılır. Granüle çamurun aşı çamuru olarak kullanılması işletmeye alma (start-up) süresini kısalttığı gibi daha yüksek KOİ verimlerinin elde edilmesine de imkan verir.

Kurulu bir tesisin işletmeye alınması için gerekli granüle çamur miktarı iyi tanımlanmamasına rağmen, atıksuyun tipi ve granüle çamur kaynağının özelliklerinin bir fonksiyonudur. Bu hacim reaktör hacminin yaklaşık % 10 - 30'u arasında olabilir. Genel olarak, aşı çamurunun hacmi arttıkça başlangıçta uygulanacak KOİ yükleme hızıda artar.

**b) Floküler Çamur:** Reaktörün işletmeye alınabilmesi için granüle çamur bulunamaması halinde floküler çamur da aşı olarak kullanılabilir. Aşı kaynağı olarak anaerobik çürümüş çamur [17],[18],[19],[20], atık aktif çamur [21] ve çiftlik gübresi [22],[23] kullanılması durumunda da başarılı işletmeye alma gerçekleşmiştir.

#### **Çevresel Faktör ve Besi Maddesinin Etkileri**

HÇYR reaktörlerin işletmeye alma ve işletilmesinde yeterli miktarda azot ve fosfor gereklidir. Nikel, Kobalt ve molibden gibi iz elementler laboratuvar ölçekli reaktörlerde metanojenik aktiviteyi artırmaktadır. Havasız çamur yataklı reaktörlerde istenen verimle arıtmanın sağlanması ve iyi özellikte granül eldesi için  $\text{NH}_4$ , Na, Ca,  $\text{H}_2\text{S}$  ve pH ilgili tavsiyeler Tablo 2.6'da özetlenmiştir [24].

Havasız Çamur Yataklı Reaktörler düşük miktarda askıda katı madde içeren atıksuların arıtımında kullanılır. Katı maddelerin yüksek konsantrasyonda bulunması durumunda ise çamur yıkanması ve düşük KOİ giderimi elde edilir. Laboratuvar ölçekli deneyler HÇYR reaktörlerin havasız filtrelerle oranla şok yüklere ve sıcaklık değişimlerine karşı daha hassas olduğunu göstermiştir. Şoktan sonra orjinal duruma gelme hali havasız filtrelerde daha kısa sürede gerçekleşmektedir. HÇYR reaktörlerdeki başlıca problem granüllerin yüzmesi olayıdır. Özellikle uzun süreli besleme yapılan reaktörlerde besleme sonrasında granüllerin yüzmesi gözlenir. Bu problemi önlemede en iyi yöntem yüzen granüllerin küçük parçalara ayrılmasını sağlayarak pompajla reaktöre döndürmektir. Bu partiküller yeniden daha iyi çökelme özelliğine sahip granüller haline gelebilirler [25].

Tablo 2.6. Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerde Çeşitli Parametrelerin Etkileri[24]

| Parametre          | Etkileri                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NH <sub>4</sub> -N | > 1000 mg/l granülasyonu inhibe eder.<br>> 2000 - 3000 mg/l (pH = 7-7.5) metan üretimini inhibe eder.                                                                                                                                                                                                                 |
| Na                 | > 5-10 g/l ise asetattan metan üretimini inhibe eder.                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| H <sub>2</sub> S   | Yüksek miktarda bulunması halinde metan bakterilerinin çoğalmasını ve aktivitesini engeller. Asetat kullanan metanojenler 0.8-1.0 mM (pH = 7-7.2) H <sub>2</sub> S konsantrasyonunda inhibe edilirler. H <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> kullanan metan bakterileri ise 2-3 mM 'lık konsantrasyonları tolere ederler. |
| Ca                 | 80-200 mg/l gibi düşük kalsiyum konsantrasyonlarında granül oluşumunda yardım eder. 800-1000 mg/l civarındaki kalsiyum konsantrasyonlarında ise granüle çamurun aktivitesinde belirgin bir düşüş gözlenir.                                                                                                            |
| pH                 | pH = 6.7-7.5 metan bakterilerinin çoğalması için optimum değerdir. Asit ve fazla yüklemeden oluşan şok durumları önler.                                                                                                                                                                                               |

## BÖLÜM 3. HAVASIZ ARITMA SİSTEMLERİ

### 3.1. GİRİŞ

Havasız arıtma, özellikle çözünebilir atık suların arıtımında oldukça büyük potansiyele sahip bir süreçtir. Günümüzde değişik özelliklere sahip pek çok havasız arıtma sistemi uygulaması bulunmaktadır. Havasız arıtma ile ilgili mevcut uygulamalar dikkate alındığında, bu sistemler arasında hem yatırım hem de işletme maliyetleri açısından en ekonomik olanı Havasız Çamur Yatağıdır(HÇY). Çözünebilir atıkların arıtımında Havasız Çamur Yatağının ekonomik olduğu pek çok pilot ölçekli ve kurulu tesislerde yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [26].

Havasız arıtma sistemleri, çamur miktarının azlığı, çok yüksek organik yüklemelerde bile yeterli arıtma verimlerinin sağlanması, mevsimlik ve kesikli işletmeye müsait olmaları; azot, fosfor gibi temel besin maddesi ihtiyacının daha az oluşu ve arıtma sonucu çıkan biyogazın enerji değeri gözönüne alındığında arıtmaya ayrılan yatırımın genellikle 10 yıldan daha kısa bir sürede geri kazanılması gibi üstünlüklere sahip bulunmaktadır. Havasız arıtma sistemleri endüstriyel hatta evsel atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Havasız arıtmanın enerji üreten bir süreç olması biyoenerji sistemlerini başta gıda sanayii olmak üzere organik karakterli kuvvetli atık veren pek çok sanayi kolu için ekonomik hale getirmiştir.

### 3.2. HAVASIZ VE HAVALI ARITMA SÜREÇLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Havasız arıtma sistemleri havalı arıtma sistemlerine göre başlıca aşağıdaki üstünlüklere sahiptir:

- \* Proses oldukça yüksek organik yüklerde etkilidir.
- \* Proses sonucunda bir enerji kaynağı olan metan gazı üretilir.
- \* Arıtma sonucu ortaya çıkan biyolojik çamur miktarı havalı sistemlere göre oldukça azdır.
- \* Aylarca besleme yapılmaksızın biyokitlenin aktif kalması sağlanabilir. Bu da mevsimlik arıtma için iyi bir alternatif olmasını sağlar.
- \* Azot, Fosfor gibi temel besin maddeleri ihtiyacı havalı sistemlere göre daha azdır.
- \* Sistem tamamen kapalı olduğundan rahatsız edici kokuya yol açmaz.
- \* Havasız ayrışmadaki ara (uçucu asitler) ve son ürünler ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ) izlenerek oldukça etkili bir proses kontrolü sağlanabilir.

Özellikle endüstriyel atıksuların arıtımında bu prosesin kullanımını etkileyen en önemli sorun optimum işletme için gerekli olan ve nisbeten yüksek sıcaklık değeridir. Metan üretiminin yetersiz olduğu seyreltik atıksularda reaktörün ısıtılması önemli bir problem oluşturmaktadır. Bu durumda daha düşük sıcaklıklarda çalışabilen mezofilik ( $20-40^\circ\text{C}$ ) havasız sistemler kullanılır. Diğer bir olumsuz yön ise havasız arıtmada metan bakterilerinin büyüme hızının yavaş oluşudur. Bu yüzden sistemin işletmeye alınması için uzun süre gerekmektedir. Büyüme hızının düşük olması, atık yükünün değişkenliğine, sıcaklığa ve diğer çevresel faktörlere bağlıdır. Havasız arıtmanın en önemli problemi, havasız ortamda nütriyent (özellikle N) gideriminin mümkün olmayışı dolayısı ile çoğu kere ilave aerobik arıtmaya ihtiyaç duyulmasıdır.

Yukarıda açıklandığı üzere havasız arıtma çok önemli üstünlüklere sahiptir. Normalde  $\text{KOİ} > 3000 \text{ mg/l}$  için bu prosesin üstünlükleri olumsuz yönlerine göre daha baskın hale gelmektedir [27]. Daha önceleri seyreltik atıksular için sınırlı

kullanıma sahip olan havasız arıtma prosesi son yıllarda bu tür atıksular için de yoğun bir şekilde kullanılmaya başlamıştır.

### Havali ve Havasız Süreçlerin Maliyeti

Havasız arıtma, atıksu özellikleri, yerel şartlar, çevre faktörleri, işletme ve kontrol sistemleri, biyogazın kullanılıp kullanılmaması, enerji ve kimyasal madde maliyetleri gibi çok sayıda parametreye bağlı olup, havasız arıtma maliyetleri hakkında ancak yaklaşık tahminlerde bulunulabilir [28].

### Aktif Çamur Sistemi ve Havasız Arıtma Sistemi Arasındaki Enerji Dengesi

Royal Commission Standartları göre, 350 mg/l BOİ ve 375 mg/l askıda katı içeren 1000 m<sup>3</sup> ham evsel atıksuyu arıtmak için gerekli elektrik enerjisi miktarı Tablo 3.1'de verilmiştir [29].

Tablo 3.1. Aktif Çamur Sistemi ile 1000 m<sup>3</sup>'lük Ham Evsel Suyu Arıtmak İçin Gerekli Enerji İhtiyacının Ortalama Değerleri

| İşlem                              | Nitrifikasyonsuz AÇS |            | Nitrifikasyonlu AÇS |            |
|------------------------------------|----------------------|------------|---------------------|------------|
|                                    | (KW-saat)            | (%)        | (KW-Saat)           | (%)        |
| Giriş Yapısı                       | 6                    | 3          | 6                   | 2          |
| İlk Çöktürme Tankı Enerji İhtiyacı | 10                   | 5          | 10                  | 3          |
| <b>Havalandırma</b>                |                      |            |                     |            |
| Aktif Çamurun Geri Devri           | 120                  | 66         | 264                 | 80         |
| Son Çöktürme Tankı Enerji İhtiyacı | 28                   | 15         | 28                  | 8          |
| Çürütme Tankı Karıştırma ve        | 5                    | 3          | 5                   | 2          |
| Pompalama Enerji İhtiyacı          | 12                   | 7          | 12                  | 4          |
| Diğer Enerji İhtiyaçları           | 2.5                  | 1          | 2.5                 | 1          |
| <b>Toplam Güç Tüketimi</b>         | <b>183.5</b>         | <b>100</b> | <b>327.5</b>        | <b>100</b> |

Tablo 3.1'den görüldüğü üzere aktif çamur sisteminde toplam enerjinin 3/4'ü havalandırmaya harcanmaktadır. Eğer nitrifikasyon yapılıyorsa bu değer ikiye katlanmaktadır.

1000 m<sup>3</sup>'lük evsel atıksuyun aktif çamur sistemi ile arıtımında kuru ağırlık itibarıyla günde yaklaşık 450 kg çamur oluşur. Katı içeriği 45 kg/m<sup>3</sup> (%4.5) olan bu çamur yaklaşık 8.9 m<sup>3</sup>/gün'lük sulu çamura karşılık gelir ve bu çamurun stabilizasyonu için yaklaşık 220 m<sup>3</sup>'lük bir çürütücü gerekir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. 1000 m<sup>3</sup>'lük Sistemde Çamurun Çürütülmesinden Oluşan Enerji Miktarı

|                                                                                                   | Nitrifikasyonsuz AÇS | Nitrifikasyonlu AÇS |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Üretilen Ham Çamurun Kuru Ağırlığı                                                                | 400 kg               | 380 kg              |
| Organik Maddenin Kuru Ağırlığı                                                                    | 290 kg               | 276 kg              |
| 1 kg çamurdan 0.5 m <sup>3</sup> gaz oluştuğu kabulü ile elde edilen gaz miktarı(m <sup>3</sup> ) | 145 m <sup>3</sup>   | 138 m <sup>3</sup>  |
| Üretilen Güç (1m <sup>3</sup> gaz = 2 KW-saat)                                                    | 290 KW-saat          | 276 KW-saat         |

1979 yılı itibarıyla 220 m<sup>3</sup>'lük bir çürütücünün maliyeti yaklaşık 94000 £'dur (1993 yılı itibarıyla 1 £ = 14 400 TL alınabilir). Maliyet adımları ise şöyledir.

|                                 | Maliyet (x10 <sup>6</sup> TL) |
|---------------------------------|-------------------------------|
| İnşaat mühendisliği maliyeti    | 475.2                         |
| Mekanik mühendisliği maliyeti   | 532.8                         |
| Ara Toplam                      | 1008                          |
| Boru döşeme maliyeti (%16)      | 161.28                        |
| Civar Düzenlemesi maliyeti(%14) | 141.12                        |
| Müteahhitlik masrafları(%4)     | 40.32                         |
| Genel Toplam                    | 1350.72                       |

Bu maliyetlere çürütücünün kendisi, ısıtma-karıştırma sistemi, ısı değiştirici, gaz yakıcısı vs. dahildir. Böyle bir çürütücü günde 145 m<sup>3</sup> gaz üretir. 94 m<sup>3</sup>'ü metan olan bu gazın 67 m<sup>3</sup>'ü sistemin ısıtılmasında kullanılmaktadır [30].

### 3.3. HAVASIZ ARITMA SİSTEMLERİ

Havasız arıtma teknolojisinde kullanılan reaktör tipleri :

- Klasik havasız çürütücü
- Havasız aktif çamur sistemi
- Havasız filtre
- Havasız akışkan yataklı reaktör
- Ultrafiltrasyonlu havasız reaktör
- Havasız çamur yatağı
- Havasız çamur yataklı filtre (hibrid reaktör)
- Havasız perdeli reaktör (Baffled Reactor)
- İki kademeli havasız reaktör (faz ayırmalı)
- Kuru Anaerobik Reaktörler

Bu sistemlere ait şekiller Şekil 3.1'de toplu halde verilmiştir [31].

#### 3.3.1. KLASİK HAVASIZ ÇÜRÜTÜCÜ

Tam karışım ve geri devirsiz bir reaktördür. Çamur yaşı ( $\theta_c$ ), hidrolik bekleme süresine( $\theta$ ) eşittir. Düşük çoğalma hızlı sahip metan bakterilerinin sistemden yıkanmasının önlenmesi için çamur yaşının 10 günden az olmaması gerekir [32]. Pratikte bu süre 12-20 gün alınır. Çok büyük hacim gerektirmesi ve çıkıştaki askıda madde konsantrasyonunun yüksek olması dolayısıyla bu tip reaktörler arıtma çamurlarının çürütülmesi ve ön asitleştirme dışında endüstriyel atıksu arıtımında pek kullanılmamaktadır.

### 3.3.2. HAVASIZ AKTİF ÇAMUR SİSTEMİ

Havasız aktif çamur sistemi sürekli beslenen tam karışımlı bir reaktör ve çamur geri devir sisteminden ibarettir. Geri devir sayesinde çamur yaşı artırılarak sistemin arıtma veriminin yükseltilmesi ve hacminin azaltılması sağlanmaktadır. Bu sistemin uygulamadaki en önemli problemi anaerobik çamurların çöktürülmesindeki zorluklardır [33]. Çöktürme verimini arttırmak için Vakumla Gaz Alma, Termal Şok ve Plakalı Çökelticiler gibi sistemler kullanılmaktadır.

### 3.3.3. HAVASIZ FİLTRE

İçerisinde plastik madde veya kırma taş dolgu malzemesi bulunan yukarı veya aşağı akışlı sistemlerdir[34],[35],[36]. Havasız filtrelerde çok yüksek değerlere varan (100 g/l) biyokitle birikimi elde edilir. Havasız filtrelerin üstünlükleri ve mahzurları aşağıdaki tarzda verilebilir.

Üstünlükleri:

- \* Düşük yüklerdeki çözünmüş atıklar için kullanılabilir.
- \* Giriş şartlarındaki değişimlerden fazla etkilenmez.
- \* Hidrolik, organik ve toksik şok etkilere karşı dayanıklıdır.
- \* Yüksek çamur bekletme süreleri ve düşük çamur üretimi gerçekleşir.
- \* Çeşitli inhibitörler karşısında biyokitle kaybı sınırlı olup, sistemin yeni durumlara intibakı daha rahat olabilmektedir.

Mahzurları:

- \* Sentetik dolgu malzemesi pahalıdır.
- \* Biyofilm teşekkülü uzun zaman aldığı için işletmeye alma süresi uzundur.
- \* Yüksek oranda askıda katı madde ihtiva eden atıklarla kısa sürede tıkanma ihtimalidir.

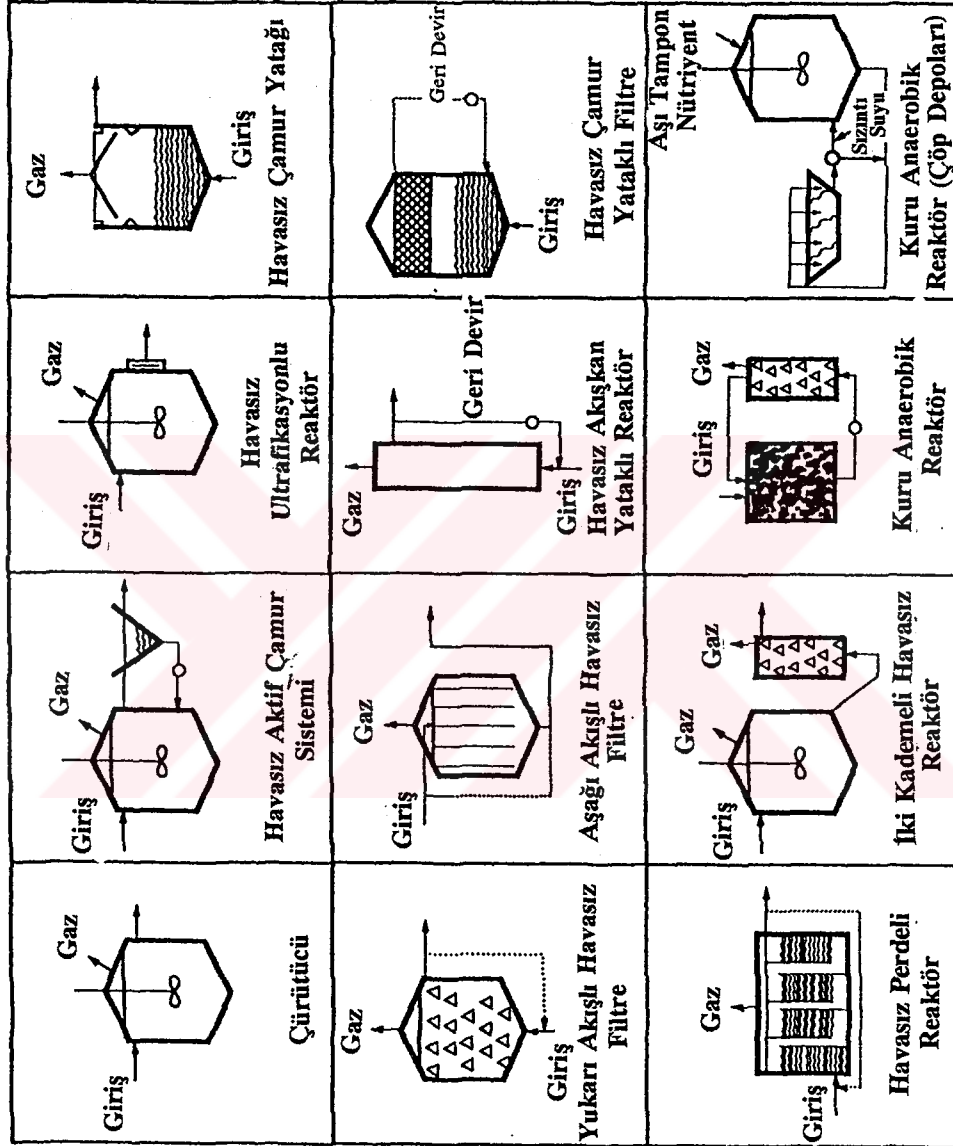
### 3.3.4. HAVASIZ AKIŞKAN YATAKLI REAKTÖR

Bu tip sistemlerde biyokitle akışkan haldeki kum, antrasit, aktif karbon veya sentetik tanecikli yatak malzemesi üzerinde tutunur [37]. Akışkan haldeki yatak malzemesinin özgül yüzeyi  $2000 - 90000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  gibi yüksek değerlere, biyokitle konsantrasyonları da  $30 \text{ g/l}$ 'nin üzerine çıkabilmektedir. Çok yüksek yükler uygulanabilen bu sistemin en önemli mahsuru yatağı akışkan halde tutmak için yaptırılan geri devir sebebiyle terfi maliyetinin bir miktar yüksek oluşudur [38]. Bununla birlikte özellikle seyreltik atıkların arıtılmasında kullanılma şansı en yüksek havasız procestir [28]. Havasız akışkan yataklı reaktörlerin sunduğu başlıca avantajlar şu şekilde özetlenebilir [39].

- \* Yatak malzemesine bağlı biyokitle kolayca reaktörden kaçamaz.
- \* Biyokitlenin tutunacağı oldukça geniş yüzey alanı vardır.
- \* Giriş ve çıkış akımlarının karışarak seyrilmesi sayesinde, alkalinite de nötralleşme, özellikle yüksek KOİ'ye sahip atıklar için organik madde konsantrasyonunun düşmesi ve toksik bileşenlerin şok etkilerinin azalması gerçekleşir.
- \* Biyofilm kalınlığı optimize edilebilir ve kontrolü mümkündür.
- \* Partiküllerin etrafında mümkün olduğunca düşük konsantrasyon değişimleri sayesinde seyreltik atıkların arıtımı sağlanabilir.
- \* Kanallanma ve gaz cepleri oluşumu söz konusu değildir.

### 3.3.5. ULTRAFİLTRASYONLU HAVASIZ REAKTÖR

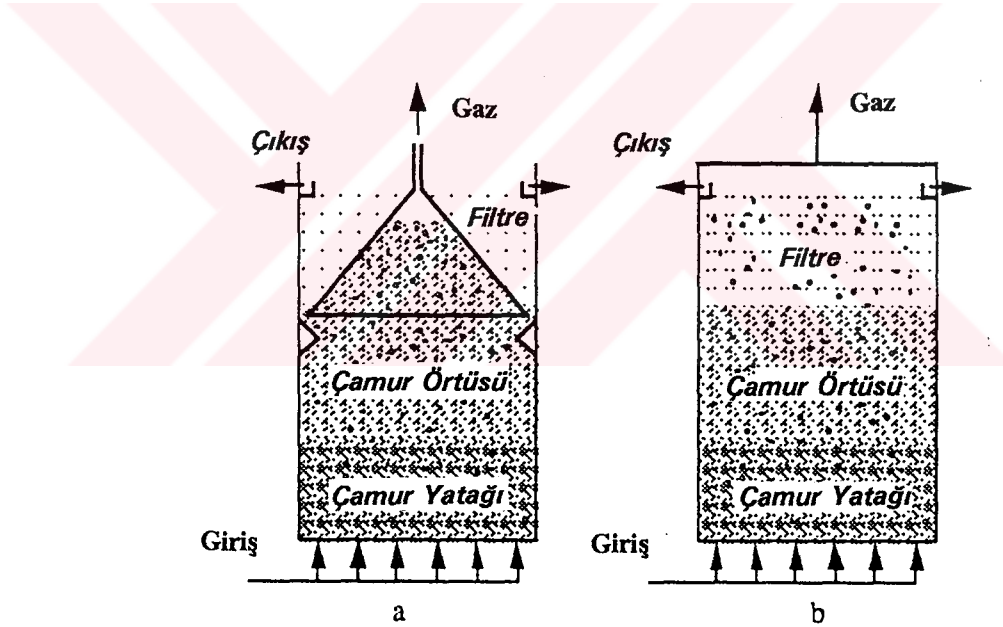
Ana kısmı tam karışimli bir reaktör olan bu sistemde çöktürme yerine ultrafiltrasyon birimi kullanılmaktadır. Ultrafiltrasyon birimindeki gözenekli sentetik membran üzerinden akarken suyu alınan biyokitle tekrar sisteme geri döndürülmekte ve böylece çamur yaşı istenildiği kadar artırılabilir. Bu sistemler KOİ değeri  $10 \text{ g/l}$ 'nin üzerinde çok konsantre ve debisi nisbeten az endüstriyel atıklar için uygundur [40].



Şekil 3.1. Havasız Reaktör Tipleri

### 3.3.6. HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI FİLTRE (HİBRİD REAKTÖR)

Havasız filtrelerin olumsuz özelliklerini azaltmak için filtre malzemesi %10-50 oranında azaltılarak alt kısmı havasız çamur yatağı, üst kısmı havasız filtre olan reaktör tipleri geliştirilmiş ve bu tip reaktörlere genel olarak havasız hibrid reaktörler adı verilmiştir. Lettinga vd.(1981)'den günümüze kadar pek çok hibrid reaktör tipi geliştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında ise Şekil 3.2.a daki sistem yerine gaz/çamur/sıvı ayırımı kısmının bulunmadığı daha basit sistemler kullanılmaktadır (Şekil 3.2.b). Bu tip reaktörlerin yüksek verimi granüle çamura bağlı olmaksızın reaktör bünyesinde yüksek miktarda biyokitle tutulabilmesinden ileri gelmektedir [41].



Şekil 3.2.a. Filtrenin altında gaz toplama yapısı içeren HR b. Standart HR

### 3.3.7. HAVASIZ PERDELİ REAKTÖR

Perdeli havasız reaktörler birbirlerinden düşey perdelerle ayrılmış seri bağlı reaktörlerden oluşur. Bu tip reaktörlerde; yüksek verim, baypas akımlarında azalma, şok yüklere dayanım ve yüksek çamur yaşı sağlanır. Yüksek uçucu asit

konsantrasyonlarının bulunduğu ilk bölmeden diğer bölmelere gidildikçe methanosarcina seçici olarak ayrıldığından asetolastik metan bakterilerinin yüksek özgül aktiviteleri elde edilir [41]. Havasız perdeli reaktörlere anoksik bölme ve nitrifikasyon ünitesi eklenmesi durumunda yüksek KOİ giderimlerine ilaveten % 81'in azot giderimleri sağlanabilmektedir [42]).

### 3.3.8. İKİ KADEMELİ HAVASIZ REAKTÖR

İki kademeli havasız reaktör, klasik havasız çürütücüyü takip eden bir ya da daha fazla havasız reaktör sisteminden ibarettir. Genelde ilk reaktör asit reaktörü, ikinci reaktör ise metan reaktörü görevini görür. Bu tarzda düzenlenmiş bir sistem ile faz ayırımı meydana getirilerek, farklı özelliklere sahip asit ve metan bakterilerinin optimum düzeyde aktiviteleri mümkün kılınır. Böylece sistemde oldukça yüksek verimler elde edilebilir. Metan reaktöründe pH kontrolü şarttır. pH'yı nötralleştirmek için çıkış suyu metan reaktörüne devrettirilir [43].

### 3.3.9. KURU ANAEROBİK REAKTÖR

Akım şeması Şekil 3.1'de görülen katı atıkların arıtıldığı bu sistem iki kademeli reaktör şeklinde tanzim edilme durumunda ilk reaktörde katı atıklar depolanır. Bu katı atıklardan oluşan sızıntı suyu ikinci reaktöre verilerek havasız arıtımı sağlanır. İkinci reaktörün çıkış suyu ilk reaktöre devrettirilir ve bu reaktörde ortam ıslak tutularak katı atığın havasız arıtımı gerçekleştirilir.

Diğer bir sistem ise doğrudan düzenli depolama alanlarından oluşan sızıntı suyunu tam karışımli bir havasız reaktöre verilerek arıtılması esasına dayanır. Bu konuda yapılan çalışmalar; katı atığın nem içeriğinin, yapılan mikrobiyolojik ilavelerin, besin maddelerinin ve pH tampon kapasitesinin prosesin başarılı olması için gerekli faktörler olduğunu göstermiştir. Sızıntı suyunun geri devri ile sistemdeki bu

parametreler ayarlanabildiği gibi stabilizasyon hızı da artırılabilir. Bu yöntemle evsel katı atıkların ayrıştırılabileceği ve sızıntı suyunun arıtımı ile deşarj limitlerine ulaşılabilir. Bu da uzun vadede çevresel riskin önemli ölçüde azaltılmasını sağlar. Atık kompozisyonu, danecik boyutu ve düzenli çöp depolama alanlarının sıcaklığı diğer önemli değişkenlerdir [31].

### 3.3.10. HAVASIZ ÇAMUR YATAĞI

Bu tür sistemlerde mikroorganizmalar yukarı akışlı akımda floklar halinde gelişir. Arıtma reaktörün alt kısmındaki çamur yatağı ile bunun üst kesimindeki çamur örtüsüne gerçekleştirilmektedir. Sistemden kaçan floklar üst kısımdaki çökeltme bölmesi yardımıyla tekrar geri dönerler [44]. Yukarı akışlı havasız çamur yatağı sisteminde karışım yükselen atıksu akımı ve gaz habbecikleri yardımıyla sağlanır. Evsel atıksulara da uygun olan bu sistemle 40 000 mg/l'nin üzerinde biyokitle konsantrasyonlarına ulaşılabilir. Gıda endüstrisi gibi KOİ'si yüksek olan atıkların arıtımında çok etkilidir.

Havasız çamur yataklı reaktörlerin işletilmeye alınmasında karşılaşılan başlıca zorluklar şu şekilde sıralanabilir.

- \* Granül çamur ihtiyacı
- \* Granül çamurun çok pahalı oluşu
- \* Granül çamurun özelliği
- \* Çamur yatağı yüksekliğinin kontrolü
- \* Düşük organik yüklerde sıvı fazda istenen düzeyde karışımın sağlanamamasıdır.

Yüksek hızlı havasız sistemlerden beklenen başlıca özellikler ise;

- \* Yüksek organik yükleme hızları
- \* Düşük hidrolik bekletme süreleri
- \* Yüksek KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) giderme verimi
- \* Aşırı yüklere karşı yüksek tolerans

- \* Hızlı start-up ve yeniden işletmeye almada kolaylık
  - \* Düşük enerji ihtiyacı
  - \* Farklı atıksu tipleri için uygulanabilirlik
  - \* İşletme ve kontrolde kolaylık
  - \* Materyal ve dizaynda ekonomiklik
- dir.

Havasız çamur yataklı sistemlerin avantajları;

- \* Yüksek giderim kapasitesi
- \* Kısa bekletme süresi
- \* Yüksek giderim verimi
- \* Düşük enerji ihtiyacı
- \* Dolgu maddesine ihtiyaç duyulmaması
- \* İnşa kolaylığı
- \* Pratikte uygulanmasının çok olmasıdır.

Mahzurları ise,

- \* Granülasyon prosesinin kontrolünün güç olması
- \* Granülasyon sürecinin atıksuyun özellikleriyle yakından ilgili olması
- \* İşletmeye alınması için granüle çamura ihtiyaç duyulması
- \* Organik şok yüklere karşı duyarlılığı
- \* Katı maddesi çok fazla olan atıklar için uygun olmaması
- \* Ca ve NH<sub>4</sub>'lerin granülleşme sürecini etkilemesi
- \* Yeniden işletmeye alındığı zaman granüllerin yüzmesi olayı ile karşılaşılması
- \* Alan ihtiyacının fazla olması olarak sıralanabilir.

### **Havasız çamur Yataklı Sistemlerin Boyutlandırılması**

Havasız arıtma çözünebilir yapıdaki atıksular için oldukça büyük potansiyele sahip bir arıtma prosesidir. Hem yatırım hem de işletme de ekonomiklik yüzünden yüksek hızlı havasız sistemler tercih edilmektedir. Bu sistemler için de HÇYR en çok tercih

edilendir. Bunun nedeni çözünebilir atıksuların bu tip reaktörlerde başarıyla arıtılması olduğu kadar, kurulu ve pilot ölçekli HÇYR'de yapılan çalışmalardan dolayı oluşan bilgi ve tecrübe birikimidir. 1990 yılı itibarıyla 3'ü evsel olmak üzere kurulu toplam 205 HÇYR sistemi mevcuttur.

HÇYR'lerde istenen seviyede arıtıma ulaşılabilmek için aşağıdaki şartların sağlanması gerekmektedir.

- Gaz, sıvı ve çamur birbirinden çok iyi ayrılmalıdır.
- Havasız mikroorganizmalar tercihen kolayca çökebilen granül formda olmalıdır.
- Atıksu reaktör tabanından üniform dağılacak şekilde sisteme verilmelidir.

Havasız çamur yataklı reaktörler özellikle kısmen çözünmüş atıkların arıtımında etkili olarak kullanılabilen bir reaktör tipidir. Bu tip atıksuların arıtımında sistem seçiminde dikkat edilecek temel unsur, giderilmesi gerekli olan askıda katı madde miktarıdır. Bu durumda yüksek yüklerin uygulandığı HF ve HGY tipi reaktörlerde bir ön çöktürme ya da son çöktürme ünitesi inşa edilmedikçe kısmen çözünmüş atıksular için uygun değildir. Atıksuyun içinde bulunan kolloidal veya askıda katı maddeler yüksek çamur yükleri uygulanması durumunda metanojenik aktivitede önemli bir düşüş meydana getirecek, hatta bu yüksek yükün uygulanması durumunda belli bir süre sonra tamamen aktiviteyi sona erdirecektir. Bu yüzden çöktürülmüş atıksuyun olabildiğince kolloidal maddelerden arınmış olması da sağlanmalıdır.

Tablo 3.3'de Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerde granüle ve floküle çamur olması durumunda uygulanabilecek organik yükler özetlenmiştir.

Tablo 3.3. HÇYR'de Uygulanabilecek Organik Yükler

| Atığın kuvveti<br>(mg/l KOİ) | Çözünmemiş<br>KOİ %'si | 30 °C'de Uygulanabilecek Organik Yük<br>(kgKOİ/m <sup>3</sup> .g) |                                  |                          |
|------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
|                              |                        | Yumaklı<br>Çamur                                                  | Granüle Çamur<br>TAM giderimi az | Belirgin TAM<br>giderimi |
| ≤ 2000                       | 10-30                  | 2 - 4                                                             | 8 - 12                           | 2 - 4                    |
|                              | 30-60                  | 2 - 4                                                             | 8 - 14                           | 2 - 4                    |
|                              | 60-90                  | *                                                                 | *                                | *                        |
| 2000-6000                    | 10-30                  | 3 - 5                                                             | 12 - 18                          | 3 - 5                    |
|                              | 30-60                  | 4 - 6                                                             | 12 - 24                          | 2 - 6                    |
|                              | 60-90                  | 4 - 8                                                             | *                                | 2 - 6                    |
| 6000-9000                    | 10-30                  | 4 - 6                                                             | 15 - 20                          | 4 - 6                    |
|                              | 30-60                  | 5 - 7                                                             | 15 - 24                          | 3 - 7                    |
|                              | 60-90                  | 6 - 8                                                             | *                                | 3 - 8                    |
| 9000-12000                   | 10-30                  | 5 - 8                                                             | 15 - 24                          | 4 - 6                    |
|                              | 30-60                  | TAM > 6-8<br>mg/l ise şüpheli                                     | TAM > 6-8<br>mg/l ise şüpheli    | 3 - 7                    |
|                              | 60-90                  | *                                                                 | *                                | 3 - 7                    |

\* Çözünmemiş kısmın > % 60 olması halinde HÇYR arıtma uygun değil.

### Gerekli reaktör hacmi

Gerekli reaktör hacmi pekçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler ;

- Günlük maksimum KOİ yükü
- Yüzeysel hidrolik yük (Uygulanabilir sıvı yüzey yükü)
- Atıksuyun minimum ısısı
- Atıksuyun yapısı (kompleks yapıda olup olmaması, biyolojik ayrışabilirliği)
- Gerekli arıtma verimi
- Gerekli çamur arıtımı

Uygulanabilir yüzeysel hidrolik yük (çöktürücü bölme ıslak alanına göre) granül yataklı HÇYR'de çözünabilir atıksular için 3 m/saat, kısmen çözünmüş atıksular için de 1.5 m/saat alınabilir. Zaman zaman, günde bir kez saatlik zaman diliminde her iki tipi atıksu için sırasıyla 6 m/saat ve 2 m/saatlik yüzey yükü değerleri tolere edilebilir. Bu şartlar altında granüle çamurun çoğu reaktörde kalır. Yüksek yüzey yükleri genellikle zayıf granüllerin sistemden yıkanması ile sonuçlanır, fakat genellikle bu olay ciddi problemlere yol açmamaktadır.

Yumaklı çamur için maksimum uygulanabilir yüzey yükü değeri 0.5 m/saat olup 2-4 saatlik süre boyunca 2 m/saatlik pik yükler tolere edilebilir. Çökme özelliği iyi olan çamurlarda bu değerler %50 oranında artırılabilir. Havasız genişlemiş yataklı reaktörlerde ise 6 m/saatlik yüklere izin verilebilir [3],[26].

Atıksular arasında çok düşük yüklü (seyreltik) atıksuların en tipik örneği ham ya da ön çöktürmeden geçirilmiş evsel atıksulardır. Bu tip seyreltik atıksular için emniyetle uygulanabilecek bekletme süreleri suyun sıcaklığı ile yakından ilgilidir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4. Sıcaklığa Bağlı Olarak 4 m Yüksekliğindeki HÇYR'de Evsel Atıksular İçin Uygulanabilecek Hidrolik Bekletme Süreleri

| Sıcaklık (°C) | Günlük Ortalama | Hidrolik Bekleme süresi (saat)  |                                             |
|---------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
|               |                 | 4-6 saat boyunca maksimum değer | 2-6 saat boyunca kabul edilebilir pik değer |
| 16 - 19       | > 10 - 14       | > 7 - 9                         | > 3 - 5                                     |
| 22 - 26       | > 7 - 9         | > 5 - 7                         | > $\pm$ 3                                   |
| > 26          | > 6             | > 4                             | > 2.5                                       |

### Debi Dağıtım Sistemi

Havasız çamur yataklı reaktörlerde yüksek hızlarda arıtım yapılabilmesi için kanallanmaya engel olunmalıdır. Kanallanma özellikle seyreltik atıksuların arıtıldığı

ve düşük gaz üretiminin gerçekleştiği durumlarda önemli hale gelir. Bu yüzden sistemin karışmasını sağlayacak uygun bir dağıtma sistemine ihtiyaç vardır. Dağıtım sistemi için belli bir kriter olmamakla birlikte Lettinga ve Hulshoff Pol tarafından [26] HÇYR için önerilen değerler Tablo 3.5’de verilmiştir.

### Gaz/Çamur Ayırıcı Sistem

Reaktörde yüksek miktarlarda çamur tutulabilmesi için gaz-çamur ayırıcı sistem dikkatle tasarlanmalıdır. Bu sistem sayesinde;

- Biyogazın sıvı ve yüzücü çamurlardan ayırımı mümkün olur.
- Çamur örtüsünden kaçan askıda katı maddelerin çökeltilerek yeniden sisteme dönmesi sağlanır.
- Çamur örtüsü tabakasının aşırı genleşmesi sınırlandırılmış olur.
- Çöktürücü işlevi görür.
- Yüzen granüle çamurun sisteme dönüşü sağlanır [26],[28].

Tablo 3.5. HÇYR’de debi Dağıtım Sistemi İçin Önerilen Yaklaşık Değerler

| Çamur Özelliği                                                | Giriş Ağzı Sayısı/m <sup>2</sup>                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yoğun Floküler Çamur<br>( > 40 kg TAM/m <sup>3</sup> )        | 0.5 - 1 (< 1 kg KOİ/m <sup>3</sup> .g)<br>1 - 2 (1-2 kg KOİ/m <sup>3</sup> .g)<br>2 - 3 (> 2 kg KOİ/m <sup>3</sup> .g)   |
| Orta Boyutta Floküler Çamur<br>(20-40 kg TAM/m <sup>3</sup> ) | 1 - 2 (< 1-2 kg KOİ/m <sup>3</sup> .g)<br>2 - 5 (> 3 kg KOİ/m <sup>3</sup> .g)                                           |
| Granüler Çamur                                                | 0.5 - 1 (≤ 2 kg KOİ/m <sup>3</sup> .g)<br>0.5 - 2 (2 - 4 kg KOİ/m <sup>3</sup> .g)<br>> 2 (> 4 kg KOİ/m <sup>3</sup> .g) |

Gaz-çamur ayırıcının üst kısmındaki çökeltme bölmesinde etkili bir çökeltme elde edilebilmesi ve çökelen çamurların yeniden reaktöre dönüşünün mümkün olabilmesi için;

- Gaz-çamur ayırıcı bölmenin eğimi  $45-60^{\circ}(55^{\circ})$  arasında olmalıdır.
- 5-7 m yüksekliğindeki bir reaktörde gaz toplayıcı bölmenin yüksekliği 1.5-2 m olmalıdır.
- Gaz kabarcıklarını toplayabilmek için gaz toplayıcısı içinde sıvı ile gazın karşılaşması sağlanmalıdır. Bu sayede gaz kabarcıklarının serbest kalması ve toplanması mümkün olur.

Organik kirleticilerin giderilmesinde havasız arıtma oldukça ilgi çekici bir alternatiftir. Çünkü sürekli işletmede standart şartlarda metan gazının maliyeti yalnızca 0.06-0.16 \$/m<sup>3</sup> tür. Üstelik bu değer tesis büyüklüğüne ya da uygulanan yüke bağlı değildir. Mevsimlik işletmede ise maliyet üçe katlanmaktadır (Tablo 3.6.) [30].

### 3.4. HAVASIZ SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 3.7. 'de havasız sistemlerin olumlu ve olumsuz özellikleri açısından karşılaştırılması verilmiştir. Bu tabloya göre gözönünde tutulan mukayese parametrelerine açısından en iyi sistemin havasız akışkan yataklı reaktör olduğu söylenebilir. Ancak pratikteki uygulamalar havasız çamur yataklı sistemlere daha çok rağbet olduğunu göstermektedir. Zira endüstriler en uygun sistemden çok, daha önce denenmiş ve bilinen sistemleri tercih etmektedirler. Dolayısıyla olumsuz yönleri çok olmakla birlikte havasız çamur yataklı sistemler dünya çapında daha çok uygulanmaya devam etmektedir.

Tablo 3.6. HÇYR ile Arıtmanın Yaklaşık Maliyeti(karşılaştırma için 10 000 TL = 1 ABD doları alınabilir).

|                                                      |                                                                                                                                                                          |                                                      |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| YAPILAN KABULLER                                     |                                                                                                                                                                          |                                                      |
| Organik Yük                                          | 10 ve 15 kg KOİ/m <sup>3</sup> -gün                                                                                                                                      |                                                      |
| KOİ giderme verimi(%)                                | %90                                                                                                                                                                      |                                                      |
| CH <sub>4</sub> verimi                               | 0.9 kg KOİ(metan)/1kg KOİ giderilen                                                                                                                                      |                                                      |
| CH <sub>4</sub> üretimi                              | 1550 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> reaktör-yıl(15 kgKOİ/m <sup>3</sup> -gün için)<br>1030 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> reaktör-yıl(10 kgKOİ/m <sup>3</sup> -gün için) |                                                      |
| Faiz ve amortisman                                   | %15 x İlk yatırım maliyeti                                                                                                                                               |                                                      |
| Bakım ve onarım                                      | %2x x İlk yatırım maliyeti                                                                                                                                               |                                                      |
| Enerji İhtiyacı                                      | %10 x metan üretimi                                                                                                                                                      |                                                      |
| İLK YATIRIM MALİYETİ                                 | 1000 m <sup>3</sup> 'lük tesis : 5x10 <sup>9</sup> -7x10 <sup>9</sup><br>5000 m <sup>3</sup> 'lük tesis : 20x10 <sup>9</sup> -30x10 <sup>9</sup>                         |                                                      |
| TOPLAM MALİYET                                       | 1000 m <sup>3</sup> 'lük tesis (x10 <sup>6</sup> TL)                                                                                                                     | 5000 m <sup>3</sup> 'lük tesis (x10 <sup>6</sup> TL) |
| 1] Sürekli İşletme (365x24 saat)                     |                                                                                                                                                                          |                                                      |
| Faiz+ Amortisman                                     | 750-1125                                                                                                                                                                 | 3000-4500                                            |
| Bakım ve Onarım                                      | 100-150                                                                                                                                                                  | 400-600                                              |
| İşçilik ve teknisyenlik                              | 150                                                                                                                                                                      | 400                                                  |
| Analiz ve Kontrol                                    | 150                                                                                                                                                                      | 400                                                  |
| TOPLAM MALİYET                                       | 1150-1475                                                                                                                                                                | 4200-5900                                            |
| CH <sub>4</sub> gazının maliyeti(TL/m <sup>3</sup> ) |                                                                                                                                                                          |                                                      |
| 15 kgKOİ/m <sup>3</sup> -gün için:                   | 800-1000                                                                                                                                                                 | 600-850                                              |
| 10 kgKOİ/m <sup>3</sup> -gün için:                   | 1250-1600                                                                                                                                                                | 900-1250                                             |
| 2] Mevsimlik İşletme(3 ay/yıl, 24 saat)              | (x10 <sup>6</sup> TL)                                                                                                                                                    | (x10 <sup>6</sup> TL)                                |
| Faiz+ Amortisman                                     | 750-1125                                                                                                                                                                 | 3000-4500                                            |
| Bakım ve Onarım                                      | 30-50                                                                                                                                                                    | 150-200                                              |
| İşçilik ve Teknisyenlik                              | 50                                                                                                                                                                       | 150                                                  |
| Analiz ve Kontrol                                    | 50                                                                                                                                                                       | 150                                                  |
| TOPLAM                                               | 880-1275                                                                                                                                                                 | 3350-5000                                            |
| CH <sub>4</sub> gazının maliyeti(TL/m <sup>3</sup> ) |                                                                                                                                                                          |                                                      |
| 15 kgKOİ/m <sup>3</sup> -gün için:                   | 2500-3600                                                                                                                                                                | 1900-2900                                            |
| 10 kgKOİ/m <sup>3</sup> -gün için:                   | 3800-5500                                                                                                                                                                | 2900-4000                                            |

Tablo 3.7. Yüksek Hızlı Havasız Sistemlerin Karakteristik Proses Davranışlarının Karşılaştırılması [45]

| Karakteristik Davranış             | HÇYR | HF   | GY/HAYR |
|------------------------------------|------|------|---------|
| Reaktörün işletmeye alınması       | -    | -    | -       |
| Biyokitle oluşumu                  | ++   | +    | ++      |
| Sıvı fazda karışma                 | -    | +(+) | ++      |
| Hidrolik şok yüklere karşı dayanım | -    | ++   | ++      |
| Organik şok yüklere karşı dayanım  | -    | +    | +       |
| Askıda katıya karşı duyarlılık     | -    | +    | ++      |
| Tıkanmaya karşı duyarsızlık        | ++   | -    | ++      |
| Biyokitle yüzmesi riski            | -    | +    | ++      |
| Reaktör kontrolü ihtiyacı          | +    | +    | -       |
| - Kötü    + İyi    ++ Mükemmel     |      |      |         |

## BÖLÜM 4. HAVASIZ ARITMANIN KİNETİĞİ

### 4.1. GİRİŞ

Havasız proseslerin kinetik modellemesinde, tam karışımından piston akımlıya kadar pekçok reaktör tipi söz konusu olduğundan hidrolik özelliklerin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Havasız arıtma gibi hız sınırlayıcı adımı olan kompleks bir prosesin kinetiğinin incelenmesi ve modellemesinde; mikrobiyolojik ve biyokimyasal özelliklerinin büyük önem taşımasının nedeni, reaktörün hidroliği hakkında teorik bilgilerden ya da iz maddeleriyle yapılan çalışmalardan yeterince bilgi edilememesi olarak özetlenebilir.

### 4.2. MONOD YAKLAŞIMI

Büyümeyi sınırlandırıcı besi maddesi konsantrasyonu ile bakterilerin özgül çoğalma hızı arasında ilişki Monod tarafından,

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot S_1}{K_s + S_1} \quad (4.1)$$

ifadesi ile verilmektedir [27],[28],[46]. Burada,

$\mu$  : Bakterilerin özgül çoğalma hızı

$X$  : Mikroorganizma konsantrasyonu

$S_1$ : Büyümeyi sınırlandırıcı besi maddesi konsantrasyonu

$K_s$ : Yarı hız sabiti

$\mu_m$ : Maksimum özgül çoğalma hızıdır.

$K$  : Birim mikroorganizma kütlesi başına maksimum besi maddesi kullanım hızıdır.

$Y$  : Mikroorganizma dönüşüm değeri

$$Y = \frac{dX/dt}{dS/dt} = \frac{\mu_m}{K} \quad (4.2)$$

Monod ifadesi kullanılarak mikroorganizma ve besi maddesi kütle korunumu yukarı akışlı bir reaktör için aşağıdaki şekilde yazılabilir. Mikroorganizma kütle korunumu,

$$V.dX/dt = X.Q - K_d.X.V - Q_w.X_w - (Q-Q_w).X_e \quad (4.3)$$

Burada:

V : Reaktör hacmi

X : Reaktördeki mikroorganizma konsantrasyonu

$K_d$ : İçsel solunum katsayısı

$Q_w$ : Sistemden uzaklaştırılan fazla çamur debisi

$X_w$ : Fazla çamurdaki mikroorganizma konsantrasyonu

$X_e$ : Çıkıştaki UKM konsantrasyonu

göstermektedir.

Kararlı halde elde edilen sonuç ifadesi ,

Kararlı hal :  $dx/dt = 0$

$$\mu = \frac{1}{\theta_c} + K_d \quad (4.4)$$

dir. (4.1) ve (4.4) ifadeleri yeniden düzenlenirse aşağıdaki hali alır.

$$\frac{X.\theta}{S_o - S_1} = \frac{K_s}{K} \cdot \frac{1}{S_1} + \frac{1}{K} \quad (4.5)$$

Burada,

$\theta$  : Hidrolik bekleme süresi,  $((V/Q)=\theta)$

$\theta_c$ : Camur yaşı,  $((X.V / (Q.X_e + Q_w.X_w))=\theta_c)$

dir.

Besi maddesi korunumu ise,

$$V \cdot \frac{dS_1}{dt} = Q \cdot S_o \cdot \frac{\mu \cdot X \cdot V}{Y} - (Q - Q_w) \cdot S_1 - Q_w \cdot S_1 \quad (4.6)$$

olup, kararlı halde elde edilen sonuç ifadesi,

$$\mu = \frac{Q \cdot Y \cdot (S_o - S_1)}{X \cdot V} \quad (4.7)$$

$$\frac{1}{\theta_c} = \frac{S_o - S_1}{X \cdot \theta} - K_d \quad (4.8)$$

şeklindedir.

#### 4.3. SUBSTRAT İNHİBİSYONU KİNETİĞİ

Substrat inhibisyonu ile ilgi yapılan çalışmalar, iyonlaşmamış uçucu asitlerin ayrışma sürecinde hız sınırlayıcı adımı oluşturduğu ve bu maddelerin düşük yada yüksek konsantrasyonlarda inhibisyona neden olduğunu göstermiştir. Andrew ve arkadaşları inhibisyonu belirlemek için aşağıda ifadesi verilen Haldane enzim kinetiğini önermişlerdir [47],[48].

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{1 + K_s/S + S/K_i} \quad (4.9)$$

Burada;

S : İyonize olmamış uçucu asit konsantrasyonunu (M/L<sup>3</sup>)

K<sub>i</sub> : İnhibisyon katsayısını

göstermektedir.

Andrew 1968 yılında çiftlik atıklarının havasız ayrışmasını karakterize etmek için bu ifadeye amonyakın etkisini de dikkate alan bir terim daha ekleyerek 4.10 eşitliğini elde etmiştir [49].

$$\mu = \frac{\mu_{\max}}{1 + K_s/S + S/K_i + NH_3/K_{i2}} \quad (4.10)$$

Burada;  $NH_3$  : İyonize olmamış amonyak konsantrasyonunu ( $M/L^3$ )

$K_{i2}$  : Amonyakın inhibisyon katsayısını ( $M/L^3$ )

göstermektedir.

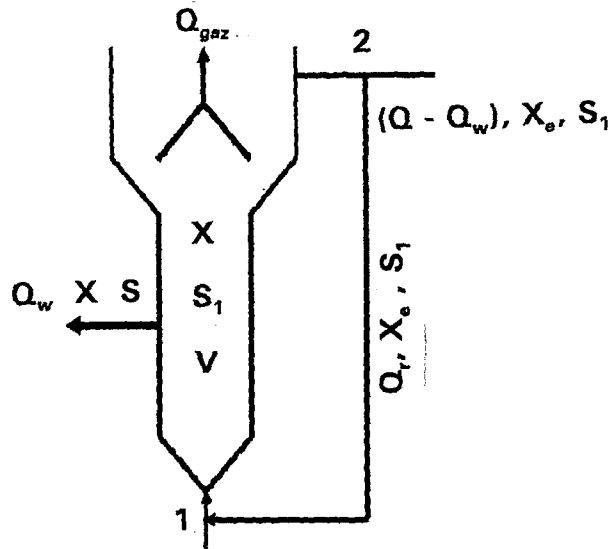
Daha sonra gerçekleştirilen araştırmalar, havasız arıtma sürecinde hidrojenin oldukça büyük bir öneme sahip olduğunu göstermiştir [50]. Heyes ve Hall bütirik ve propiyonik asitin parçalanması esnasında hidrojen konsantrasyonundaki artış dolayısıyla inhibisyonun arttığını göstermişlerdir [51].

#### 4.4. İKİNCİ MERTEBE KİNETİĞİ

Esas alınan havasız arıtma sisteminde (1) ve (2) noktaları arasında besi maddesi kütle korunumu yazılırsa;

$$V \cdot \frac{dS}{dt} = Q \cdot S_o - (Q - Q_w) \cdot S_1 + V \cdot r_{su} - Q_w \cdot S_1 \quad (4.11)$$

olur. İkinci mertebe kinetiğine göre organik madde tüketim hızı,



Şekil 4.1 Kütle Dengesinde Esas Alınan Havasız Arıtma Sistemi

$$r_{su} = \frac{dS}{dt} = K_2 \cdot X \cdot \left(\frac{S_1}{S_o}\right)^2 \quad (4.12)$$

şeklindedir. (4.12) ifadesi (4.11) da yerleştirilerek denklem düzenlenirse, kararlı durum için ((ds/dt)=0),

$$Q \cdot S_o - Q \cdot S_1 - V \cdot K_2 \cdot X \cdot \frac{S_1^2}{S_o^2} = 0 \quad (4.13)$$

$$S_o - S_1 = K_2 \cdot \theta \cdot X \cdot \frac{S_1^2}{S_o^2} \quad (4.14)$$

veya

$$\frac{S_1^2}{S_o^2} = \frac{1}{K_2 \cdot \theta \cdot X} \cdot (S_o - S_1) \quad (4.15)$$

elde edilir. (4.15) denklemini  $S_1$ 'e göre düzenlenirse,

$$(K_2 \cdot X \cdot \theta) \cdot S_1^2 + S_o^2 \cdot S_1 - S_o^3 = 0 \quad (4.16)$$

$$\Delta = S_o^4 - 4 \cdot K_2 \cdot X \cdot \theta \cdot S_o^3 \quad (4.17)$$

$$S_{1,2} = \frac{-S_o^2 \pm \sqrt{\Delta}}{2 \cdot K_2 \cdot X \cdot \theta} \quad (4.18)$$

Bu ifadelerden S; f( $S_o, X, \theta, K_2$ ) olarak bulunabilir. Mikroorganizma kütle korunumu yazılırsa;

$$V \cdot \frac{dX}{dt} = Q \cdot X_o - (Q - Q_w) \cdot X_e + V \cdot r_g' - Q_w \cdot X \quad (4.19)$$

$$r_g' = \left(Y \frac{r_{su}}{X} - k_d\right) X \quad (4.20)$$

Kararlı hal için,

$$\frac{(Q-Q_w)X_e + Q_w \cdot X}{VX} = (Y \cdot K_2 \frac{S_1^2}{S_o^2} - K_d) \quad (4.21)$$

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \cdot K_2 \frac{S_1^2}{S_o^2} - K_d \quad (4.22)$$

bulunur. Denklem (4.15), (4.22)'de yerine konursa,

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{S_o - S_1}{X\theta} - K_d \quad (4.23)$$

elde edilir. İkinci mertebe kinetiği substrat giderme hızı denklemini çözümü,

$$\frac{S_1}{S_o} = \frac{1}{1 + K_2 \frac{\theta \cdot X}{S_o}} \quad (4.24)$$

olarak elde edilir. Bu denklem lineerleştirilirse,

$$\frac{\theta \cdot S_o}{S_o - S_1} = \theta + \frac{S_o}{K_2 \cdot X} \quad (4.25)$$

genel olarak bulunur. Denklem (4.26)'daki b 1'e yakın bir değer olmalıdır. (a) ise

$$\frac{\theta \cdot S_o}{S_o - S_1} = b \cdot \theta + a \quad (4.26)$$

( $S_o/X$ )'in fonksiyonu şeklindedir [27],[52].

DeneySEL verilerin kinetik değERlendirmeSi Bölüm 7'de verilmiştir.

## **BÖLÜM 5. EVSEL ATIKSULARIN HAVASIZ ARITIMI**

### **5.1. EVSEL ATIKSUYUN ÖZELLİKLERİ**

Genelde düşük organik kirlilikteki evsel atıksuların özellikleri pek çok faktöre bağlı olduğundan kirlilik parametrelerinin oldukça geniş bir aralığa yayıldığı gözlenmektedir. Evsel atıksuların havasız arıtımı ile ilgili çalışmalarda kullanılan atıksular için kirlilik parametrelerinin değişim aralıkları ise Tablo 5.1’de verilmiştir.

Evsel atıksuların havasız arıtımında oluşan biyogazda  $\text{CO}_2$  oranı oldukça düşüktür (Tablo 5.2). Bunun nedeni yüksek çözünürlüğü yüzünden  $\text{CO}_2$ ’nin büyük bir kısmının sıvı ortamda kalmasıdır. Bu şartlarda Azot Gazı( $\text{N}_2$ ) önemli hale gelir ve  $\text{N}_2$  ,  $\text{CH}_4$ ’e yakın oranlara erişebilir [53]. Arıtılan atıksuyun birim hacmi başına oluşan biyogaz miktarı arttıkça azot içeriği azalmakta bununla birlikte metan içeriği artmaktadır. Biyogazdaki azot evsel atıksudaki çözünmüş azottan kaynaklanır ve havasız arıtma sürecinde üretilen metan yardımıyla sıvı fazdan uzaklaştırılır [54].

### **5.2. EVSEL ATIKSULARIN HAVASIZ ARITIMI KONUSUNDAKİ ÇALIŞMALAR**

Bu güne kadar seyreltik atıksuların havasız arıtımı ile ilgili olarak yapılan çalışmalar atıksuyun özelliğine göre üç ana grupta toplanabilir (Tablo 5.3). Bunlar:

- Evsel atıksularla yürütülen çalışmalar
- Endüstriyel atıksuları da içeren evsel atıksularla yapılan çalışmalar
- Evsel atıksu karakterinde hazırlanmış sentetik atıksularla yapılan çalışmalar

Tablo 5.1. Ham Evsel Atıksu Özellikleri

| Parametre               | Literatürdeki Çalışmalarda Kullanılan Evsel Atıksuların Değişim Aralıkları | Bu Çalışma                                 |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| BOİ <sub>5</sub> (mg/l) | 44-573                                                                     | -                                          |
| Toplam KOİ(mg/l)        | 31-1280                                                                    | 32/780[250]                                |
| Çözünmüş KOİ(mg/l)      | 24-666                                                                     | 25-230                                     |
| AKM(mg/l)               | 7-543                                                                      | 20-372                                     |
| NH <sub>3</sub> (mg/l)  | 8-70                                                                       | 24-88                                      |
| Toplam Fosfor(mg/l)     | 1-10                                                                       | 2.7-4.3                                    |
| TKN(mg/l)               | 55                                                                         | 24-53                                      |
| Alkalinite(mg/l)        | 82-354                                                                     | 25-700[270]                                |
| pH                      | 5.72-8.95                                                                  | 5.6-9.6[7.7]                               |
| Sülfat                  | 4-443                                                                      | -                                          |
| Uçucu Asit(mg/l)        | 39                                                                         | -                                          |
| Uçucu Katılar(mg/l)     | 33-297                                                                     | -                                          |
| Toplam Katılar(mg/l)    | 752-852                                                                    | -                                          |
| Sıcaklık(°C)            | 10-30                                                                      | 5-28                                       |
| Yağ-gres(mg/l)          | 93                                                                         | -                                          |
| Koliform(adet/100 ml)   | 1.2 · 10 <sup>6</sup><br>(fokal koliform)                                  | 5-9 · 10 <sup>6</sup><br>(toplam koliform) |

Tablo 5.2. Reaktör Biogaz Kompozisyonu (%)

| Parametre        | %     |
|------------------|-------|
| CO <sub>2</sub>  | 0-10  |
| CH <sub>4</sub>  | 13-92 |
| N <sub>2</sub>   | 8-86  |
| H <sub>2</sub> S | 0.5   |

Evsel ve sentetik atıksularla yapılan çalışmalarda KOİ giderimi %70-90 arasında gerçekleşirken, endüstriyel suları içeren evsel atıksuların arıtımında endüstriyel atıksu kaynağının özelliğine bağlı olarak düşük giderimler elde edilebilmektedir.

Seyreltik atıksuların havasız arıtımı havasız arıtmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların düşük büyüme hızları dolayısıyla bazı problemler oluşturmaktadır. Havasız arıtma sürecinin son safhasını gerçekleştiren metan bakterilerinin üreme hızları oldukça düşüktür ve ikilenme süreleri gün mertebesinde. Minimum ikilenme süresine ancak yüksek organik karbon konsantrasyonlarında ve yeterli miktarda nütriyentler varsa ulaşabilmektedir. Bunun sonucu olarak reaktördeki arıtma sürecinin kararlılığının sürdürülebilmesi için aktif biyokitle kaybetme hızının sentez hızını aşmaması gerekmektedir. Bu yüzden reaktörden biyokitle kaçışı minimize edilmeli ve çok kısa hidrolik bekletme sürelerinden kaçınılmalıdır [54].

Havasız arıtma ile ilgili bilgi birikimi arttıkça, önceleri mezofilik şartlarda ve yüksek organik yüklü atıksular için uygulanan havasız arıtma prosesleri düşük sıcaklıklarda ve seyreltik atıksular için de kullanılmaya başlanmıştır. Havasız arıtma küçük, basit, ucuz bir reaktörde gerçekleştirilebildiği için, lokanta, otel ve turistik tesisler gibi tekil işletmelerin atıksularını arıtmada tercih edilen bir arıtma prosesi haline gelmiştir. Uygun şartlarda işletilen septik tanklarla bile oldukça yüksek KOİ giderimleri elde edilebilmektedir.

Kismen çözünmüş atıksuların havasız arıtımında nisbeten daha düşük yükler uygulanması tercih edilmektedir. İşletme şartları açısından reaktördeki biyokitle azalışı önemli ölçüde değilse yüksek yükler uygulanabilir. Zira bu durumda aktif biyokitle seçici bir şekilde sistemde kalırken girişten gelen askıda katı madde reaktör boyunca devreder. Gerçekte önemli oranda AKM içeren kompleks atıksular granüle çamur yataklı reaktörlerde yüksek hızlarda arıtılabilirler. Floküler çamurun bulunduğu HÇYR'lerde atıksuyun içerdiği biyolojik parçalanabilirliği zor askıda katılar özgül metanojenik aktivitenin düşmesine neden olurlar. Bu yüzden yüksek

Tablo 5.3. Evsel Atıksuların Havasız Artımı Konusunda Yapılmış Çalışmalar

| Atık Tipi | Reaktör                 | Sıcaklık (°C) | Hacim (m <sup>3</sup> ) | S <sub>o</sub> (mg/l)                   | S <sub>i</sub> (mg/l)            | Organik Yük (kg KOI/m <sup>3</sup> • gün) | Verim (%)        | AKM <sub>s</sub> (mg/l) | AKM <sub>ç</sub> (mg/l) | θ (saat) | Kaynak No |
|-----------|-------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|----------|-----------|
| Evsel     | Havasız Perdeli Reaktör | 18-28         | 0.35                    | 750                                     | 170 (130)                        | -                                         | 75               | -                       | -                       | 15       | [42]      |
| Evsel     | Havasız Filtre          | 29            | -                       | 328 (220)                               | 110 (81)                         | -                                         | 66 (63)          | 72                      | 10                      | 24       | [53]      |
|           | Havasız Filtre          | 16            | 0.0484                  | 435 (317)                               | 173 (145)                        | 1.7                                       | 60 (54)          | 61                      | 21                      | 24       |           |
| Evsel     | Havasız Çamur Yatağı    | 8-20<br>12-16 | -                       | 300<br>688 [204-1253] (337) [182-439]   | -<br>150 [79-304] (106) [40-253] | -<br>-                                    | 50-60<br>78 (69) | -<br>-                  | -<br>-                  | 12<br>24 | [54]      |
|           |                         | 7-20          | -                       | 500 [117-1100] (338) [69-666] [100-900] | 164 [35-299] (133) [10-227]      | -                                         | 67               | -                       | -                       | 12       |           |
|           |                         | 20            |                         |                                         | -                                | -                                         | 65-80            | -                       | -                       | 8-48     |           |
| Evsel     | Havasız Genleşmiş Yatak | 37            | -                       | 473                                     | [145-364]                        | -                                         | 18-52            | -                       | -                       | 2.4-38   | [55]      |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi | Reaktör                      | Sıcaklık (°C) | Hacim (m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub> (mg/l) | S <sub>1</sub> (mg/l) | Organik Yük (kg KOI/m <sup>3</sup> • gün) | Verim (%) | AKM <sub>g</sub> (mg/l) | AKM <sub>g</sub> (mg/l) | θ (saat) | Kaynak No |
|-----------|------------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|----------|-----------|
| Glikoz    | Akışkan Yatak                | 10-30         | 0.001                   | 200                   | 56                    | 1.2-4.8                                   | 72        | -                       | -                       | 4        | [56]      |
|           |                              |               |                         |                       | 68                    |                                           | 66        |                         |                         | 2        |           |
|           |                              |               |                         |                       | 78                    |                                           | 61        |                         |                         | 1        |           |
|           |                              | 10-30         | 0.001                   | 400                   | 69                    | 2.4-9.6                                   | 83        | -                       | -                       | 4        |           |
|           |                              |               |                         |                       | 91                    |                                           | 77        |                         |                         | 2        |           |
|           |                              |               |                         |                       | 118                   |                                           | 71        |                         |                         | 1        |           |
|           |                              | 10-30         | 0.001                   | 600                   | 88                    | 3.6-14.4                                  | 85        | -                       | -                       | 4        |           |
|           |                              |               |                         |                       | 153                   |                                           | 77        |                         |                         | 2        |           |
|           |                              |               |                         |                       | 205                   |                                           | 66        |                         |                         | 1        |           |
| Eysel     | Sabit Yataklı Havasız Filtre | 23            |                         | 375 (125)             | 120 (70)              | -                                         | 68(44)    | 260                     | 50                      | -        | [57]      |
|           |                              | 23            |                         | 375 (125)             | 170 (60)              | -                                         | 55(52)    | 260                     | 120                     | -        |           |
| Eysel     | Havasız Çamur Yatağı         | 9-20          | 6                       | 500 300-650           | (80-180)              | -                                         | 75        | -                       | -                       | 8        | [58]      |
|           |                              | 9-20          | 6                       | 400-600               | 110-180               | -                                         | 70        | -                       | -                       | 24       |           |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi           | Reaktör                       | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub><br>(mg/l) | S <sub>i</sub><br>(mg/l) | Organik Yük<br>(kg KOI/m <sup>3</sup> • gün) | Verim<br>(%)  | AKM <sub>g</sub><br>(mg/l) | AKM <sub>ç</sub><br>(mg/l) | θ<br>(saat) | Kaynak<br>No |
|---------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-------------|--------------|
| Evsel               | Havasız<br>Filtre             | 14               | 190                        | 115(57)                  | 66(44)                   | -                                            | 43(23)        | 46                         | 17                         | 24          | [59]         |
|                     |                               | 18               | 190                        | 283(117)                 | 92(72)                   | -                                            | 67(38)        | 94                         | 8                          | 24          |              |
|                     |                               | 23               | 190                        | 165(95)                  | 88(75)                   | -                                            | 50(21)        | 45                         | 8                          | 24          |              |
| Evsel + Endüstriyel | Havasız<br>Genleşmiş<br>Yatak |                  | 334                        | 264                      | 187                      | -                                            | 26            | 98                         | 55                         | -           | [60]         |
|                     |                               |                  | 334                        | 236                      | 139                      | -                                            | 39            | 133                        | 57                         | -           |              |
|                     |                               |                  |                            | 263                      | 143                      | -                                            | 43            | 127                        | 39                         | -           |              |
|                     |                               |                  |                            | 78                       | 60                       | -                                            | 23            | 23                         | 13                         | -           |              |
|                     |                               |                  |                            | 193                      | 111                      | -                                            | 35            | 88                         | 29                         | -           |              |
| Evsel               | Havasız<br>Çamur<br>Yatağı    | 24-26            |                            | 267<br>(40-240)          | -                        | -                                            | 75-82<br>(83) | 215                        | 65                         | 4-8         | [61]         |
|                     |                               | 35               |                            | 341                      | 120                      | -                                            | 65<br>(83)    | 88                         | 34                         | 4           |              |
| Evsel               | Havasız<br>Aktif<br>Çamur     | 20               | 2.6                        | 1273                     | 400                      | -                                            | 70            | -                          | -                          | 16          | [62]         |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi       | Reaktör                      | Sıcaklık (°C) | Hacim (m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub> (mg/l)     | S <sub>i</sub> (mg/l) | Organik Yük (kg KOI/m <sup>3</sup> • gün) | Verim (%) | AKM <sub>g</sub> (mg/l) | AKM <sub>ç</sub> (mg/l) | $\theta$ (saat) | Kaynak No |
|-----------------|------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-----------------|-----------|
| Sentetik Atıksu | Havasız Filtre               | 25            | 0.029                   | 1500                      | 312                   | -                                         | 79        | -                       | -                       | 9               | [63]      |
|                 |                              | 25            | 0.029                   | 1500                      | 950                   | -                                         | 37        | -                       | -                       | 4-5             |           |
| Evsel           | Kontak Tank + Havasız Filtre | 20            | 0.016                   | 550 (178)                 | 110 [75-110]          | 0.48                                      | 78        | 252                     | 30                      | 24              | [64]      |
| Evsel           | Havasız Filtre               | 24            | 0.016                   | 288 [77-110] (46) [31-71] | 78 [55-121]           | -                                         | 73        | 118 [60-543]            | 32 [15-50]              | 24              | [65]      |
|                 |                              |               |                         | 181*                      | 38*                   |                                           |           |                         |                         | 24              |           |
| Evsel           | Kontak Tank + Havasız Filtre | 20-25         | 0.01                    | 180*                      | 25*                   | -                                         | 86*       | 180                     | 9                       | 36              | [66]      |

Tablo 5.3. (Devam)

| Ank Tipi               | Reaktör                 | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>o</sub><br>(mg/l) | S <sub>i</sub><br>(mg/l) | Organik Yükl<br>(kg KOİ/m <sup>3</sup> • gün) | Verim<br>(%)     | AKM <sub>g</sub><br>(mg/l) | AKM <sub>ç</sub><br>(mg/l) | θ<br>(saat) | Kaynak<br>No |
|------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|--------------|
| Eysel                  | Havasız Çamur<br>Yatağı | 8-20             | 0.120                      | [200-900]                | -                        | 0.7-2.7                                       | 54-72<br>(60-89) | -                          | -                          | 8           | [67]         |
| Eysel                  | Havasız Çamur<br>Yatağı | 15-20            | 6                          | [322-950]                | -                        | ≤ 2                                           | 30-80            | -                          | -                          | 8           |              |
|                        |                         | 9-12             | 6                          |                          | -                        | ≤ 2                                           | 18-45            | -                          | -                          | 8           |              |
| Eysel                  | Havasız Çamur<br>Yatağı | 12-20            | 0.120                      | 190-1180                 | -                        | -                                             | 30-75            | -                          | -                          | 7-8         | [68]         |
| Eysel <sub>ak</sub>    | EGSB                    | 12-20            | 0.116                      | 150-600                  | -                        | -                                             | 20-60            | -                          | -                          | 2-3         |              |
| Eysel                  | Havasız Çamur<br>Yatağı | 19-28            | 0.120                      | 627(151)                 | 163                      | -                                             | 74(89)           | 376                        | 105                        | 4           | [69]         |
| Eysel +<br>Endüstriyel | Havasız Çamur<br>Yatağı | 14-23            | 240                        | 205-326                  | 108-204<br>(50-110)      | -                                             | 31-56            | -                          | -                          | 12-42       | [70]         |
|                        | Havasız Filtre          | 14-24            | 8                          | 102-210<br>(41-116)      | 45-95<br>(28-38)         | -                                             | 20-64<br>(28-67) | -                          | -                          |             |              |
|                        | Akışkan Yatak           | 14-23            | 8                          |                          |                          |                                               |                  |                            |                            |             |              |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi | Reaktör                  | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub><br>(mg/l)               | S <sub>i</sub><br>(mg/l)            | Organik Yük<br>(kg<br>KOİ/m <sup>3</sup> ·gün) | Verim<br>(%) | AKM <sub>g</sub><br>(mg/l) | AKMç<br>(mg/l) | θ<br>(saat) | Kaynak<br>No |
|-----------|--------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------|-------------|--------------|
| Eysel     | Havasız Akışkan<br>Yatak | 17-25            | -                          | 267<br>[104-1106]<br>(151)<br>[64-328] | 142<br>[74-225]<br>(93)<br>[60-178] | -                                              | 47<br>(38)   | 78                         | 50             | 6.4         | [71]         |
| Eysel     | Havasız Akışkan<br>Yatak | 22-29            | -                          | 134<br>[46-187]<br>(113)<br>[24-181]   | 84<br>[43-114]<br>(69)<br>[11-101]  | -                                              | 37<br>(39)   | 16                         | 27             | 1.7-5       |              |
| Eysel     | Havasız Çamur<br>Yatağı  | 8-20             | -                          | [200-900]                              | -                                   | -                                              | 50-85        | < 300                      | -              | -           | [72]         |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi | Reaktör                                   | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub><br>(mg/l) | S <sub>1</sub><br>(mg/l) | Organik Yük<br>(kg KOI/m <sup>3</sup> • gün) | Verim<br>(%)     | AKM <sub>2</sub><br>(mg/l) | AKM <sub>5</sub><br>(mg/l) | θ<br>(saat) | Kaynak<br>No |
|-----------|-------------------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|--------------|
| Eysel     | Havasız Genleşmiş<br>Yatak <sub>lab</sub> | 20               | -                          | [170-320]                | -                        | -                                            | 68-92            | -                          | -                          | 8           | [73]         |
|           |                                           | 20               | -                          | [140-220]                | -                        | -                                            | 57-84            | -                          | -                          | 2-1         |              |
|           |                                           | 20               | -                          | 215                      | 50                       | -                                            | 77               | -                          | -                          | 2           |              |
|           |                                           | 20               | -                          | [119-205]                | -                        | -                                            | 68-72            | -                          | -                          | 8-24        |              |
|           | Havasız Genleşmiş<br>Yatak                | 20               | 10.10 <sup>-3</sup>        | 500<br>[50-950]          | -                        | 0.65-30                                      | -                | 86<br>[40-186]             | -                          | 0.08-3      |              |
|           | Havasız Genleşmiş<br>Yatak                | 10-30            | "                          | 500<br>[50-950]          | -                        | 0.3-24                                       | -                | 0                          | -                          | 0.5-9.5     |              |
| Eysel     | Havasız Filtre <sub>lab</sub>             | 25-33            | -                          | [250-572]                | -                        | -                                            | 71               | 68-203                     | < 30                       | 5           | [74]         |
| Eysel     | Havasız Filtre                            | -                | -                          | 200                      | 80                       | -                                            | 60               | -                          | -                          | -           | [75]         |
| Eysel     | Havasız Çamur<br>Yatağı                   | 15-19            | -                          | 500                      | -                        | -                                            | 40-55<br>(65-80) | -                          | -                          | 8           | [76]         |
|           |                                           | 11-12            | -                          | 400                      | -                        | -                                            | 30-50<br>(55-70) | -                          | -                          | 8           |              |
|           |                                           | 9.5-10           | -                          | 500                      | -                        | -                                            | 30(55)           | -                          | -                          | 8           |              |

Tablo 5.3. (Devam)

| Ank Tipi | Reaktör                 | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub><br>(mg/l) | S <sub>i</sub><br>(mg/l) | Organik Yükl<br>(kg KOİ/m <sup>3</sup> • gün) | Verim<br>(%)   | AKM <sub>g</sub><br>(mg/l) | AKMç<br>(mg/l) | θ<br>(saat)  | Kaynak<br>No |
|----------|-------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|----------------|----------------------------|----------------|--------------|--------------|
| Eysel    | Havasız Çamur<br>Yatağı | 35               | -                          | 341                      | -                        | -                                             | 65(83)         | 88                         | 34             | 4            | [77]         |
| Eysel    | Havasız Çamur<br>Yatağı | 20               | -                          | 424                      | 170                      | -                                             | 60(82)         | 188                        | 58             | 4            | [78]         |
|          | Havasız Çamur<br>Yatağı | 23               | -                          | 406                      | 142                      | -                                             | 65(83)         | 191                        | 59             | 4            |              |
| Eysel    | Havasız Çamur<br>Yatağı | 12-18<br>7-8     | 6<br>-                     | [500-700]<br>[500-700]   | -<br>-                   | -<br>-                                        | 40-60<br>45-65 | -<br>-                     | -<br>-         | 7-12<br>9-14 | [79]         |
| Eysel    | Havasız Çamur<br>Yatağı | 24-26            | -                          | 660                      | 178                      | -                                             | 73<br>(85-91)  | -                          | -              | 10-18        | [80]         |
| Eysel    | Havasız Çamur<br>Yatağı | 21-25            | -                          | 265                      | 133                      | -                                             | 50             | 123                        | 33             | 4.7          | [81]         |
| Eysel    | Havasız Çamur<br>Yatağı | 23-24            | -                          | 430-520                  | -                        | -                                             | 66             | 250                        | 70             | 5.2          | [82]         |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi | Reaktör                    | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub><br>(mg/l) | S <sub>1</sub><br>(mg/l) | Organik Yük<br>(kg KOI/m <sup>3</sup> • gün) | Verim<br>(%) | AKM <sub>s</sub><br>(mg/l) | AKM <sub>e</sub><br>(mg/l) | θ<br>(saat) | Kaynak<br>No |
|-----------|----------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-------------|--------------|
| Eysel     | Havasız Çamur<br>Yatağı    | 12-18            | -                          | 465                      | 163                      | -                                            | 65           | 154                        | 42                         | 18          | [83]         |
| Eysel     | Havasız Çamur<br>Yatağı    | 10-15            | -                          | [740-1280]               | -                        | -                                            | 48-16        | -                          | -                          | 13-14       | [84]         |
| Eysel     | Havasız Filtre             | -                | -                          | 355<br>[150-530]         | 189<br>[96-285]          | -                                            | 44           | 140                        | 43                         | -           | [85]         |
|           |                            | 13-27            | -                          | 197                      | 110                      | -                                            | 44           | 83                         | 17                         | -           |              |
| Eysel     | Havasız Akışkan<br>Yatak   | 15-30            | 0.009                      | 180-400                  | 50-150<br>(40-100)       | -                                            | 50-75        | 50-150                     | -                          | 3.9         | [86]         |
| Eysel     | Havasız Perdeli<br>Reaktör | 13-16            | 7                          | 340                      | (85)                     | -                                            | 75           | -                          | -                          | 9-12        | [87]         |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi              | Reaktör                  | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub><br>(mg/l) | S <sub>i</sub><br>(mg/l) | Organik Yük<br>(kg KOI/m <sup>3</sup> • gün) | Verim<br>(%) | AKM <sub>g</sub><br>(mg/l) | AKM <sub>q</sub><br>(mg/l) | θ<br>(saat) | Kaynak<br>No |
|------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-------------|--------------|
| Evsel +<br>Endüstriyel | Havasız Akışkan<br>Yatak | -                | 935.10 <sup>-6</sup>       | 272                      | 120                      | -                                            | 56           | 121                        | 18                         | 24          | [88]         |
|                        |                          |                  |                            | 242                      | 111                      | -                                            | 54           | 107                        | 16                         | 18          |              |
|                        |                          |                  |                            | 265                      | 123                      | -                                            | 54           | 117                        | 26                         | 12          |              |
|                        |                          |                  |                            | 255                      | 150                      | -                                            | 41           | 118                        | 30                         | 8           |              |
|                        |                          |                  |                            | 272                      | 160                      | -                                            | 41           | 121                        | 20                         | 24          |              |
|                        |                          |                  |                            | 242                      | 111                      | -                                            | 54           | 107                        | 24                         | 18          |              |
|                        |                          |                  |                            | 265                      | 139                      | -                                            | 48           | 117                        | 12                         | 12          |              |
|                        |                          |                  |                            | 255                      | 158                      | -                                            | 38           | 118                        | 23                         | 8           |              |
| Evsel                  | Havasız Akışkan<br>Yatak | 10               | 0.54                       | 760                      | 175                      | -                                            | 70           | -                          | -                          | 1.5         | [89]         |
| Evsel                  | Havasız Çamur<br>Yatağı  | 25               | 64                         | 250-350                  | 120<br>(70)              | -                                            | 60           | 150                        | 45                         | 6-8         | [90]         |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi | Reaktör                 | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>o</sub><br>(mg/l) | S <sub>i</sub><br>(mg/l) | Organik Yük<br>(kg KOİ/m <sup>3</sup> • gün) | Verim<br>(%) | AKM <sub>g</sub><br>(mg/l) | AKM <sub>ç</sub><br>(mg/l) | θ<br>(saat) | Kaynak<br>No |
|-----------|-------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|-------------|--------------|
| Evsel     | Havasız Çamur<br>Yatağı | 19 ± 3           |                            | 400 ± 64<br>[317-523]    | 142 ± 37<br>[92-227]     |                                              | 64           | -                          | -                          | 14.5        | [91]         |
|           |                         | 18 ± 3           |                            | 403 ± 63<br>[213-538]    | 149 ± 30<br>[72-184]     |                                              | 63           | 182 ± 48                   | 45 ± 19                    | 11          |              |
|           |                         | 21 ± 3           |                            | 407 ± 61<br>[213-595]    | 142 ± 27<br>[92-198]     |                                              | 65           | 195 ± 70                   | 49 ± 23                    | 8.8         |              |
|           |                         | 22 ± 3           |                            | 459 ± 84<br>[322-561]    | 206 ± 46<br>[143-273]    |                                              | 55           | 219 ± 57                   | 74 ± 33                    | 7.2         |              |
|           |                         | 22 ± 2           |                            | 374 ± 31<br>[340-406]    | 152 ± 18<br>[126-170]    |                                              | 59           | 192 ± 64                   | 45 ± 9                     | 7.0         |              |
|           |                         | 25 ± 2           |                            | 194 ± 65<br>[113-331]    | 89 ± 20<br>[50-129]      |                                              | 54           | 91 ± 39                    | 34 ± 14                    | 7.5         |              |
|           |                         | 28 ± 1           |                            | 188 ± 37<br>[133-228]    | 83 ± 10<br>[73-97]       |                                              | 56           | 67 ± 11                    | 24 ± 8                     | 6.1         |              |
|           |                         | 25 ± 2           |                            | 258 ± 50<br>[164-350]    | 103 ± 39<br>[26-216]     |                                              | 60           | 113 ± 43                   | 37 ± 16                    | 6.2         |              |
|           |                         | 21 ± 3           |                            | 307 ± 63<br>[199-477]    | 117 ± 29<br>[73-186]     |                                              | 60           | 149 ± 72                   | 49 ± 21                    | 5.1         |              |
|           |                         | 18 ± 2           |                            | 285 ± 63<br>[211-406]    | 189 ± 44<br>[106-236]    |                                              |              | 236 ± 164                  | 105 ± 112                  | 4.4         |              |
|           |                         | 22 ± 4           |                            | 393 ± 76<br>[316-479]    | 280 ± 25<br>[246-304]    |                                              |              | 207 ± 60                   | 78 ± 49                    | 5.0         |              |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi              | Reaktör                    | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub><br>(mg/l)               | S <sub>1</sub><br>(mg/l)         | Organik Yük<br>(kg KOI/m <sup>3</sup> • gün) | Verim<br>(%)                     | AKM <sub>g</sub><br>(mg/l)         | AKM <sub>q</sub><br>(mg/l)       | $\theta$<br>(saat)               | Kaynak<br>No |
|------------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------|
| Eysel                  | Havasız Çamur<br>Yatağı    | 20-30            | 1200                       | 563 ± 164                              | 149-178                          | -                                            | 74<br>[68-74]                    | 418                                | 104-134                          | 6                                | [92]         |
| Eysel +<br>Endüstriyel | Havasız +<br>Membran Model | 12.4-27.5        | 76.7                       | 286-394                                | 90-125                           | 0.65-0.97                                    | 71-80                            | 191-220                            | 31-62                            | 1.8                              | [93]         |
| Glikoz                 | Havasız Çamur<br>Yatağı    | 31 ± 3           | 0.01035                    | 560<br>690<br>710<br>720<br>730<br>695 | 50<br>60<br>65<br>65<br>70<br>55 | 0.56<br>0.92<br>1.42<br>2.15<br>2.92<br>4.1  | 91<br>91<br>91<br>91<br>90<br>92 | 44<br>83<br>50<br>51<br>183<br>245 | 17<br>57<br>19<br>98<br>38<br>30 | 24<br>18<br>12<br>7.92<br>6<br>4 | [94]         |

Tablo 5.3. (Devam)

| Atık Tipi | Reaktör                | Sıcaklık<br>(°C) | Hacim<br>(m <sup>3</sup> ) | S <sub>0</sub><br>(mg/l) | S <sub>1</sub><br>(mg/l) | Organik Yük<br>(kg KOİ/m <sup>3</sup> • gün) | Verim<br>(%)  | AKM <sub>g</sub><br>(mg/l) | AKM <sub>ç</sub><br>(mg/l) | $\theta$<br>(saat) | Kaynak<br>No  |
|-----------|------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|---------------|
| Evsel     | Havasız Çamur<br>Yatak | 30 ± 5           | 0.01035                    | 445 ± 120<br>[230-610]   | 98 ± 32<br>[50-160]      | 0.89                                         | 72<br>[61-88] |                            | < 50                       | 12                 | Bu<br>çalışma |
|           |                        | 30 ± 5           | 0.01035                    | 255 ± 120<br>[67-550]    | 73 ± 34<br>[34-195]      | 0.266                                        | 69<br>[44-88] |                            | < 50                       | 23                 |               |
|           |                        | 30 ± 5           | 0.01035                    | 380 ± 230<br>[32-780]    | 114 ± 71<br>[20-274]     | 0.395                                        | 65<br>[38-79] |                            | < 50                       | 11                 |               |
|           |                        | 30 ± 5           | 0.01035                    | 240 ± 17<br>[216-255]    | 70 ± 17<br>[74-86]       | 0.320                                        | 70<br>[60-82] |                            | < 50                       | 18                 |               |
|           |                        | 30 ± 5           | 0.01035                    | 230 ± 113<br>[55-580]    | 77 ± 40<br>[20-168]      | 0.690                                        | 62<br>[38-93] |                            | < 50                       | 8                  |               |
|           |                        | 25 ± 5           | 0.01035                    | 245 ± 125<br>[90-520]    | 65 ± 42<br>[30-150]      | 0.970                                        | 73<br>[42-90] |                            | < 50                       | 6                  |               |
|           |                        | 25 ± 5           | 0.01035                    | 290 ± 105<br>[140-475]   | 76 ± 40<br>[30-145]      | 0.580                                        | 73<br>[58-90] |                            | < 50                       | 12                 |               |
|           |                        |                  |                            |                          |                          |                                              |               |                            |                            |                    |               |

( ) Çözünmüş KOİ bazındaki değerleri,

[ ] Değişim aralığını,

\* BOİ bazındaki değerleri göstermektedir.

AKM içeren atıksuların arıtımında kayda değer granülleşme görülmez. Bununla birlikte eğer yüksek organik yükler uygulanacaksa floküle çamurların bulunduğu sistemlerde tek kademeli arıtma yerine iki kademeli yada çökelme birimi içeren tek kademeli arıtma daha uygundur [54].

Coulter ve arkadaşları tarafından 1968'de yapılan deneysel çalışmada 4.7 m<sup>3</sup> hacimli havasız kontak reaktörü takip eden havasız filtre kullanmış ve böyle bir sistemle toplam askıda katı madde ve BOİ 'de oldukça yüksek giderimler elde edilmiştir. Söz konusu çalışma sonucunda havasız arıtmanın fizibil olduğu kanıtlanmıştır. Pretorius'un 1971 yılında Güney Afrika'da gerçekleştirdiği benzer çalışma ve bunu izleyen diğer çalışmalarda evsel atıksuların havasız arıtımı konusunun geliştirilmesine yol açmıştır [66].

1976 yılından beri Lettinga ve arkadaşları (1984) tarafından Hollanda'da gerçekleştirilen çalışmalar floküle çamurlu HÇYR'lerin özellikle tropikal alanlardaki ülkeler için uygun bir arıtma alternatifi olduğunu göstermiştir [67].

Draaijer ve arkadaşları (1992) tarafından yapılan çalışmada 1200 m<sup>3</sup> hacimli havasız çamur yataklı reaktör kullanılmış ve 6 saatlik bekletme süresinde KOİ ve AKM'de % 75'e varan giderimler elde edilmiştir. İlgili çalışmada aşı çamuru kullanılmaksızın 10 haftada sistem işletmeye alınmıştır. Sistemde arıtma sonucu oluşan çamurun, su içeriği oldukça düşük, kararlı ve çamur kurutma yatağında 6 günlük bir bekletme süresi sonunda kurutulabildiği belirtilmiştir [92].

Kiriyama ve arkadaşları (1992) tarafından yapılan diğer bir çalışmada, çevre sıcaklığında HÇYR'e ilaveten aerobik arıtma ve filtrasyon ünitesinden oluşan iki kademeli bir sistem kullanılmıştır. Bu tür bir arıtma çıkışında BOİ = 5-15 mg/l, KOİ = 32-63 mg/l ve AKM = 5-15 mg/l değerlerine ulaşılmış ve toplam giderim olarak KOİ'de 71-79, BOİ'de 91-97'lik verimler elde edilmiştir. Hacimsel organik yükün 0.65-0.97 kg KOİ/m<sup>3</sup>/gün aralığında tutulduğu çalışmada arıtılan atıksuyun m<sup>3</sup>'ü başına 0.015-0.04 kg biyolojik çamur ortaya çıkmıştır [93].

Grin ve arkadaşları(1985) tarafından HÇYR'de evsel atıksu kullanılarak yapılan çalışmada 12°C'de ve 8 saatlik hidrolik bekleme süresinde %75'lik, 24 saatlik bekleme süresinde ise %70'lik KOİ giderimleri sağlanmıştır [58]. Bu çalışmadan elde edilen diğer sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- . Çözünmüş KOİ giderimi organik yüklemeye bağlı olmaksızın %60 civarındadır.
- . 20°C'de KOİ giderimi hidrolik bekleme süresinin 48 saatten 4 saate düşmesine rağmen belirgin olarak değişmemektedir. Fakat metana dönüşüm oranı artmaktadır.
- . 15° 'yi aşan sıcaklıklarda KOİ giderimi 0.9-1.6 kgKOİ/m<sup>3</sup>/g'lük yüklerden belirgin şekilde etkilenmemektedir. Bununla birlikte 12°'nin altında KOİ giderimi ve gaz üretimi önemli miktarda azalmaktadır.

Genung ve diğerlerinin (1985) havasız filtre sisteminden elde ettiği sonuçlar ise şu şekilde verilebilir [59].

- . Seyreltik evsel atıksuların arıtımında önemli ölçüde BOİ ve AKM giderimi elde edilmektedir. Mekanik olarak inşası basit olan bu sistem, oldukça kararlı olup işletmede önemli bir problemle karşılaşılmamaktadır.
- . Çok az çamur üretilmektedir.
- . Küçük yerleşim birimlerinin atık sularının arıtımı için bu teknoloji oldukça uygun bir alternatif olabilir.

Schellinkhout ve diğerleri tarafından(1985) [61] yapılan çalışmada tropikal iklim şartlarında evsel atıksuların HÇYR'lerde arıtımı incelenmiş 4-8 saatlik hidrolik bekletme sürelerinde toplam KOİ'de %65-82, çözünmüş KOİ'de ise %83'lük giderimler elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen diğer sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- . Evsel atıksuların 24-26°C de tropikal şartlarda HÇYR ile arıtımı oldukça fizibil ve dikkat çeken bir uygulamadır. İşletmeye alındıktan sonra 3-3.5 saatlik bekleme

sürelerinde BOİ bazında 78-85'lik verimler elde edilmiştir.

- . Evsel atıksuların arıtıldığı reaktörlerin işletmeye alınması evsel atıksu çamurları ile yapılmalıdır. Bu durumda sistem nisbeten daha hızlı bir şekilde işletmeye alınabilir.
- . Toplam askıda katı madde giderimi hidrolik yüke bağlı olduğu kadar reaktörde bulunan çamur miktarı ile de yakından ilgilidir. Hidrolik yükün 4-15.5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.g aralığında olması durumunda belirgin bir yatak genişmesi söz konusudur. Sabah erken saatlerde çıkış ağzından 1.5-2 m aşağıda bulunan çamur yatağı gün boyunca genişler ve sonuçta %60'lık bir toplam askıda katı madde giderimi gerçekleşir.
- . Havasız reaktörlerde arıtılan atıksularda, askıda katı madde, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> ve patojenler için müteakip ilave arıtma gereklidir.

Brezilya'da 120 m<sup>3</sup>'lük HÇYR ile 5 yıl boyunca yapılan çalışmalar [91] sonucunda oda sıcaklığında 5-15 saatlik hidrolik bekleme sürelerinde oldukça tatminkar sonuçlar alınmıştır. Brezilya' da su kalitesini iyileştirmek ve çevresel etkenler nedeniyle hızlı bozunan evsel atıksuyun halk sağlığını tehlikeye sokmasını önlemek için, kısa sürede inşa edilip işletmeye alınabilen HÇYR özellikle tercih edilmektedir. HÇYR sonrası arıtılmış suya, duruma göre dezenfeksiyon ve nütriyent giderimi uygulanmalıdır.

Evsel atıksuların havasız arıtımı konusunda Tablo 5.3'de verilen çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- . Evsel atıksuların havasız arıtımı sonucunda evsel atıksuyun içerdiği endüstriyel atıksu miktar ve özelliğine bağlı olarak % 30 ila % 85'e varan KOİ giderimi sağlanmaktadır. BOİ giderimleri daha yüksektir.
- . Evsel atıksular oldukça yüksek organik yüklerde bile yeterli verimlerle arıtılabilmektedir. Bir saat gibi düşük hidrolik bekleme süreleri uygulanabilmektedir.
- . Evsel atıksuların havasız arıtımı esnasında çok az miktarda biyolojik çamur oluşmaktadır.

- . Havasız reaktörler, özellikle havasız çamur yataklı reaktörler, kurulu tesisler bazında uygun giriş yapısı oluşturulduğu takdirde evsel atıksuların havasız arıtımı için ekonomik bir arıtma alternatifidir.
- . Havasız çamur yataklı reaktörler basit, kompakt ve maliyeti daha az olduğu için kullanımları daha kolaydır.
- . Havasız sistemlerde evsel atıksuların arıtımı sonucu çıkış suyunda azot, fosfor ve patojen giderimi için ileri arıtmaya ihtiyaç vardır.



## **BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **6.1. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEM VE SİSTEMLER**

Evsel nitelikli atıksuların havasız çamur yataklı reaktörde arıtılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada etkili hacmi 10.35 l olan laboratuvar ölçekli bir reaktör kullanılmıştır. Sistem İTÜ Kampüsü kanalizasyon sisteminden sağlanan atıksu ile beslenmiştir. Kesikli olarak beslenen reaktörde değişken giriş ve işletme şartlarının sistem verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

#### **6.1.1. Deney Tesisi ve Kullanılan Atığın Özellikleri**

Çalışma, şematik resmi Şekil 6.1’de verilen havasız çamur yataklı reaktörde gerçekleştirilmiştir. Model reaktörün gövdesi, iç çapı 120 mm olan şeffaf plastik borudan imal edilmiştir. Reaktörün net gövde yüksekliği 1 m olup çöktürme bölgesi ile toplam yükseklik 1.30 m’ye ulaşmaktadır. Çöktürme bölgesinde ayrıca çökelen çamurların sisteme geri dönüşünü sağlamak ve üretilen biyogazı toplamak üzere ters konik şekilli özel bir sıvı-katı ayırıcı teşkil edilmiştir. Reaktör çıkış yapısı, batmış savak şeklinde çalışan bir sistem olarak tasarlanmış ve çeşitli seviyelerden çamur numunesi alabilmek için reaktör gövdesi boyunca 6 adet numune musluğu konmuştur. Reaktör gövde kısmına sarılan şeffaf plastik hortum içerisinde devrettirilen sıcak su ile ısıtılmıştır. Suyun ısıtılması, paslanmaz çelikten mamül termostatlı bir ısı değiştirici ile sağlanmıştır. Isı kayıplarını önlemek için reaktörün ısıtılan kısmı ile ısı değiştiricinin dış yüzeyine cam yünü ceket giydirilmiştir. Çalışmada kullanılan reaktörün faydalı hacmi 10.35 l, çökeltme bölgesi hacmi ise 6.05 litredir. Reaktöre beslenen evsel atıksuyun özellikleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Evsel Atıksu Özellikleri

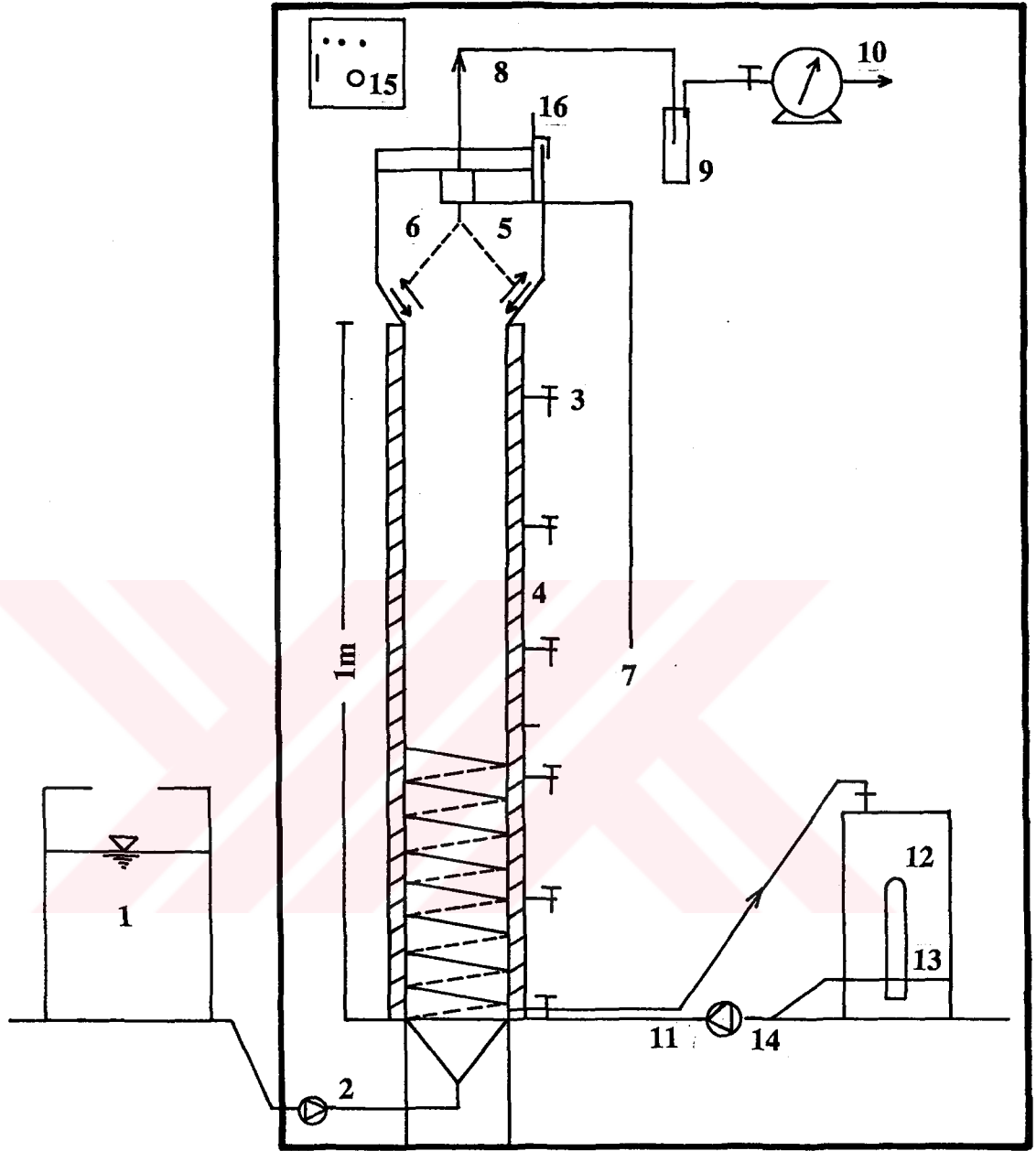
| Parametre              | Değeri  |
|------------------------|---------|
| pH                     | 5.6-9.6 |
| KOİ(mg/l)              | 32-780  |
| Alkalinite (mg/l)      | 25-700  |
| Sıcaklık (°C)          | 5-28    |
| TKN (mg/l)             | 24-120  |
| NH <sub>3</sub> (mg/l) | 24-88   |
| Toplam P (mg/l)        | 2.7-4.3 |

### 6.1.2. Deneysel Çalışma Planı

Çalışma, daha önce sentetik evsel atıksu özelliğinde hazırlanmış seyreltik atıksu ile beslenen reaktörde gerçekleştirildiğinden işletmeye alma için önemli bir alıştırma devresine gerek kalmamıştır. Deneysel çalışmada reaktör 03<sup>30</sup> -08<sup>00</sup> saatleri arasında beslenmemiş, diğer zamanlarda ise toplam debi yarımşar saatlik sürelerde kesikli olarak verilmiştir. Bu tür bir besleme düzeni özellikle küçük tesislerden gelebilecek debileri temsil etmek üzere seçilmiştir. Çalışmada uygulanan işletme şartları Tablo 6.2’de, parametrelerin izlenme sıklığı ve analiz metodları ise Tablo 6.3’de verilmiştir.

Tablo 6.2. Deneysel Çalışmada Uygulanan İşletme Şartları

| Parametre                                            | Değerleri |
|------------------------------------------------------|-----------|
| Hidrolik Bekleme Süresi (Saat)                       | 6-24      |
| KOİ (mg/l)                                           | 32-780    |
| Hacimsel Organik Yük ( kg KOİ/m <sup>3</sup> .gün )  | 0.266-1   |
| Hidrolik Yük ( m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .gün ) | 1-4       |



Şekil 6.1. Çalışmanın Yapıldığı Model Havasız Çamur Yatağı

- |                      |                                |
|----------------------|--------------------------------|
| 1. Besleme Haznesi   | 9. Gaz-Sıvı ayırıcı            |
| 2. Besleme Pompası   | 10. Islak Gazmetre             |
| 3. Numune Muslukları | 11. Sıcak Su Devridaim Hattı   |
| 4. Cam Yünü Ceket    | 12. Isı Değiştirici            |
| 5. Gaz Toplam yapısı | 13. Termostatlı Isıtıcı        |
| 6. Çıkış yapısı      | 14. Sıcak Su Devridaim Pompası |
| 7. Çıkış Hattı       | 15. Kontrol Panosu             |
| 8. Gaz Hattı         | 16. Termometre                 |

Tablo 6.3. İzleme ve Analiz Programı

| Parametre         | Numune Yeri          | Ölçme Sıklığı            | Analiz Metodu                                                             |
|-------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Sıcaklık          | Reaktör              | Sürekli                  | Termometre                                                                |
| pH                | Reaktör giriş/çıkışı | Günlük                   | pH Probu                                                                  |
| Alkalinite        | Reaktör giriş/çıkışı | Günlük                   | Titrasyon (AWWA Standard Methods)[95]                                     |
| KOİ               | Reaktör giriş/çıkışı | Haftada 3 kez            | Makro KOİ(Open Reflux/ISO)                                                |
| AKM               | Reaktör giriş/çıkışı | Haftada 3 kez            | Genel (AWWA Standard Methods)                                             |
| Toplam Katı Madde | Reaktör              | Organik yük değiştiğinde | Genel (AWWA Standard Methods)                                             |
| TKN               | Reaktör giriş/çıkışı | Organik yük değiştiğinde | Macro Kjeldahl + Titrasyon (AWWA Standard Methods)                        |
| NH <sub>3</sub>   | Reaktör giriş/çıkışı | Organik yük değiştiğinde | Distilasyon + Titrasyon (AWWA Standard Methods)                           |
| T-P               | Reaktör giriş/çıkışı | Organik yük değiştiğinde | HNO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> diğ. + spektrofotometre |

## 6.2. REAKTÖR HİDROLİĞİ MODELLERİ

Bu çalışmada kullanılan reaktördeki akımın hidrolik rejimini belirlemek üzere LiCl ile iz madde deneyleri yapılmıştır. Bu bölümde iz madde deneyleri ile reaktör hidrolik rejiminin belirlenmesi konusundaki teorik esaslar verilmiştir. Bu konudaki uygulamalar ileride Bölüm 7’de sunulmuştur.

### 6.2.1. Dispersiyonlu Akım Modeli

Kapalı bir sistem için dispersiyon sayısı, Levenspiel(1972) [96] tarafından verilen aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\sigma^2 = \frac{\sum t_i^2 \cdot C_i}{\sum C_i} - t^2 = \frac{\sum t_i^2 C_i}{\sum C_i} - \left[ \frac{\sum t_i C_i}{\sum C_i} \right]^2 \quad (6.1)$$

$$\sigma_\theta^2 = \frac{\sigma^2}{t^2} \quad (6.2)$$

$$\sigma_\theta^2 = 2 \frac{D}{UL} - 2 \left( \frac{D}{UL} \right)^2 (1 - e^{-UL/D}) \quad (6.3)$$

Bu ifadelerde;

$C_i$  : İz maddesi konsantrasyonu

$t_i$  : Zaman

$t$  : Ortalama bekleme zamanı

$\sigma^2$  : varyans ( $T^2$ )

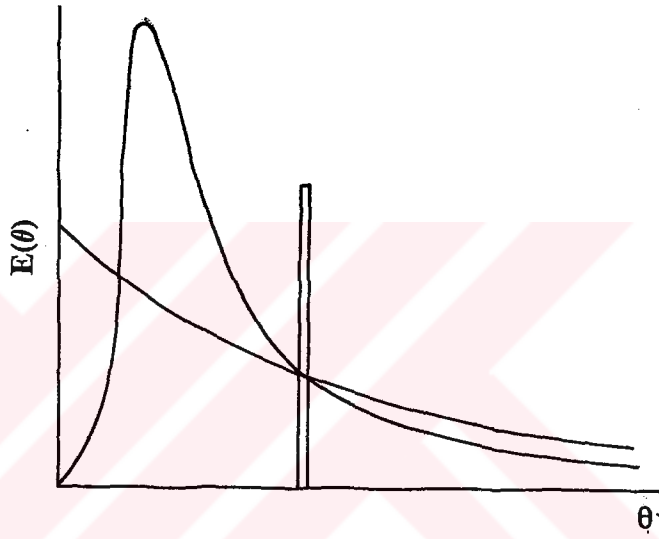
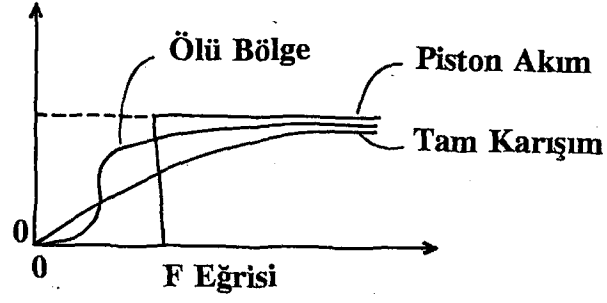
$\sigma_\theta^2$  : Varyans(boyutsuz)

$D/UL$  : Dispersiyon sayısını

göstermektedir.

### C - E - F Eğrileri

Reaktör girişine ani olarak enjekte edilen iz maddesinin çıkıştaki konsantrasyon dağılımını ifade eden eğriye C eğrisi adı verilir. Başlangıçtaki iz maddesi konsantrasyonu sıfır olan bir reaktöre üniform konsantrasyonlu bir iz maddesi sürekli olarak verilirse bunun reaktör çıkışındaki konsantrasyon dağılımını ifade eden eğriye F eğrisi adı verilir. Akışkan zerreciklerinin reaktörde kalış süreleri farklıdır. Reaktör çıkışındaki sıvı içerisindeki iz maddesinin reaktördeki kalış sürelerinin (hidrolik bekleme süresi) dağılımları E-eğrisi ile gösterilir ve bu eğrinin altındaki alan hidrolik bekleme süresine eşit olmalıdır. Şekil 6.2'de tam karışım, piston akımlı ve ölü bölgeye sahip bir reaktörde E-eğrisinin değişimi verilmiştir.



Şekil 6.2. Tam Karışım, Piston Akımlı ve Ölü Bölge Bir Reaktörde E-Eğrisi

### 6.2.2. GAMA DAĞILIM MODELİ

Gama Dağılım Modeli tamamen matematiksel bir model olup, diğer modeller gibi birden fazla değişkene sahiptir. Bu parametrelerden biri veya birkaçı belirli değerler aldığı anda ise model fiziksel model olarak tanımlanabilmektedir [97]. Modelin ihtimal yoğunluk fonksiyonu

$$f(t) = \frac{1}{\nu^p \Gamma(p)} \cdot (t-D)^{p-1} \cdot e^{-(t-D)/\nu} \quad (6.4)$$

denklemini ile ifade edilir. Burada,

$p$  = Akım yönündeki karışım parametresi  $p \gg 1$

$\nu$  = Sistemdeki ortalama bekleme süresi

$\Gamma$  = Tanımlanan Gamma Fonksiyonu

$D$  = Sistemdeki ölü bölge  $\infty > t > D \geq 0$

$$\Gamma(p) = \int_0^{\infty} x^{p-1} \cdot e^{-x} dx \quad (6.5)$$

$f(t)$  ihtimal yoğunluk fonksiyonu yardımı ile iz maddesi bekleme süreleri dağılımı  $E(t)$  ve bazı akım karakteristikleri elde edilir.

$p = 1$  ve  $D = 0$  için

$$f(t) = \frac{1}{\nu} \cdot e^{-t/\nu} \quad (6.6)$$

elde edilir.

Tam karışımlı bir reaktörde hidrolik bekleme süreleri dağılımı,

$$E(t) = \frac{1}{t} \cdot e^{-t/\nu} \quad (6.7)$$

ifadesine eşit olduğundan denklem 6.6 ve 6.7 karşılaştırılırsa  $\nu$  'yu sistemin hidrolik bekleme süresi olarak değerlendirmek mümkündür.

$p$ 'nin değeri 1'den daha büyükse  $\Gamma$ -dağılımının pik noktası soldan sağa doğru tedrici olarak kayar. Bunun fiziksel anlamı, modelin tam karışımından piston akımlıya doğru uzaklaştığıdır.

$\Gamma$ -dağılımı tam anlamıyla matematiksel bir model olmasına rağmen dağılımın parametreleri ile ilgili değişik fiziksel yorumlar yapılabilir. Eğer sistemdeki kalış süreleri dağılımı,  $\Gamma$ -dağılımına yaklaşıyorsa ihtimal yoğunluk fonksiyonu ile ifade edilebilir.

$$f(t) = \frac{1}{\nu^p \Gamma(p)} \cdot (t-D)^{p-1} \cdot e^{-(t-D)/\nu} \quad (6.8)$$

$f(t)$ , reaktör girişinden verilen iz maddesinin kalış süresi dağılımına eşdeğerdir.

$$f(t) = E(t) = y(t)$$

Kapalı sistemler için iz maddeleri kalış bekleme süresi dağılımı ortalaması hidrolik bekleme süresine eşit olacağından, sistemin hidrolik kalış süreleri dağılımı,

$$\nu = \frac{\mu_t - D}{p} = \frac{\bar{t} - D}{p} \quad (6.9)$$

$$E(t) = \frac{1}{(\bar{t} - D)^p \Gamma(p)} (t-D)^{p-1} \cdot e^{-p \frac{(t-D)}{(\bar{t} - D)}} \quad (6.10)$$

olur. Burada;

$\mu_t$  = Hidrolik kalış süreleri dağılımı ortalamasıdır.

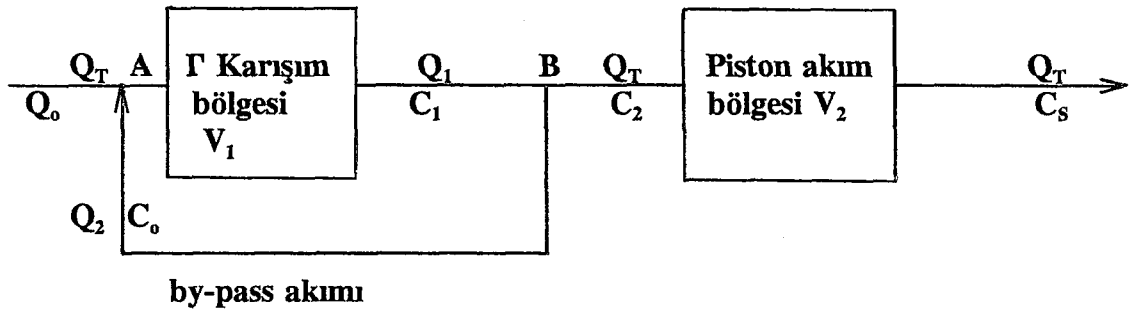
Eğer boyutsuz zaman,  $\theta$ , kullanılırsa, boyutsuz kalış süreleri dağılımı ifadesi

$$E(\theta) = E(t)\bar{t} = \frac{p^p}{(1-\tau)^p \Gamma(p)} \cdot (\theta - \tau)^{p-1} \cdot e^{-p \frac{(\theta - \tau)}{(1-\tau)}} \quad (6.11)$$

tarzında yazılabilir.

### 6.2.3. GENELLEŞTİRİLMİŞ GAMA DAĞILIM MODELİ

Bu model  $\Gamma$ - dağılımının geliştirilmiş şekli olup, gamma karışım bölgesi ile bunu izleyen piston akım bölgesinden oluşur. Bununla birlikte giriş akımının bir kısmı  $\Gamma$  - karışım bölgesine uğramadan doğrudan piston akımlı bölgenin girişine gider.



$Q_1 = \Gamma$  - karışım bölgesindeki debi

$Q_2 = \text{by - pass akımının debisi}$

$Q_T = \text{Toplam debi}$

$V_1 = \Gamma$ - karışım bölgesinin hacmi

$V_2 = \text{Piston akımlı bölgenin hacmi}$

$V_T = \text{Tüm sistemin hacmi}$

$C_1 = \text{İz maddesi konsantrasyonu}$

$$C_2 Q_T = Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_0$$

$Q_T$  ' ye bölünürse

$$C_2 = \beta(1 + (1 - \beta) C_0)$$

$$\beta = Q_1 / Q_T ; \tau = V_2 / V_T = 1 - V_1 / V_T$$

$\beta = \Gamma$ -karışım bölgesine giren debinin oranı,  $\tau$  ise piston akımlı kısımdaki boyutsuz bekleme süresidir. Kapalı bir sistem için , tüm bir sistemin ortalama bekleme

$$\bar{t} = \frac{V_T}{Q_T} \quad (6.12)$$

süresidir.

- $\beta$  artıkça karışımın etkisi artmaktadır.
- $p$ 'nin artışı axial yöndeki karışımın azalışını ya da  $\Gamma$ - karışım bölümündeki transfer fonksiyonunun derecesinin artışına karşı gelir.
- $\tau$  değerindeki artış piston akım etkisinin artışını gösterir.

Genelleştirilmiş Gama fonksiyonunun ani enjeksiyon halinde giriş konsantrasyonu değişimi  $X(\theta) = \delta(\theta)$  dikkate alınarak

$$E(\theta) = \frac{\beta (p\beta)^p}{(1 - \tau)^p \Gamma(p)} (\theta - \tau)^{p-1} e^{\frac{-p\beta}{1-\tau}(\theta - \tau)} + (1 - \beta)\delta(\theta - \tau) \quad (6.13)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir [97]. Bu ifade kullanılarak elde edilen boyutsuz zaman ve konsantrasyon eğrileri Bölüm 7'de verilmiştir.

## BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 7.1. İZLEYİCİ MADDE DENEYLERİ

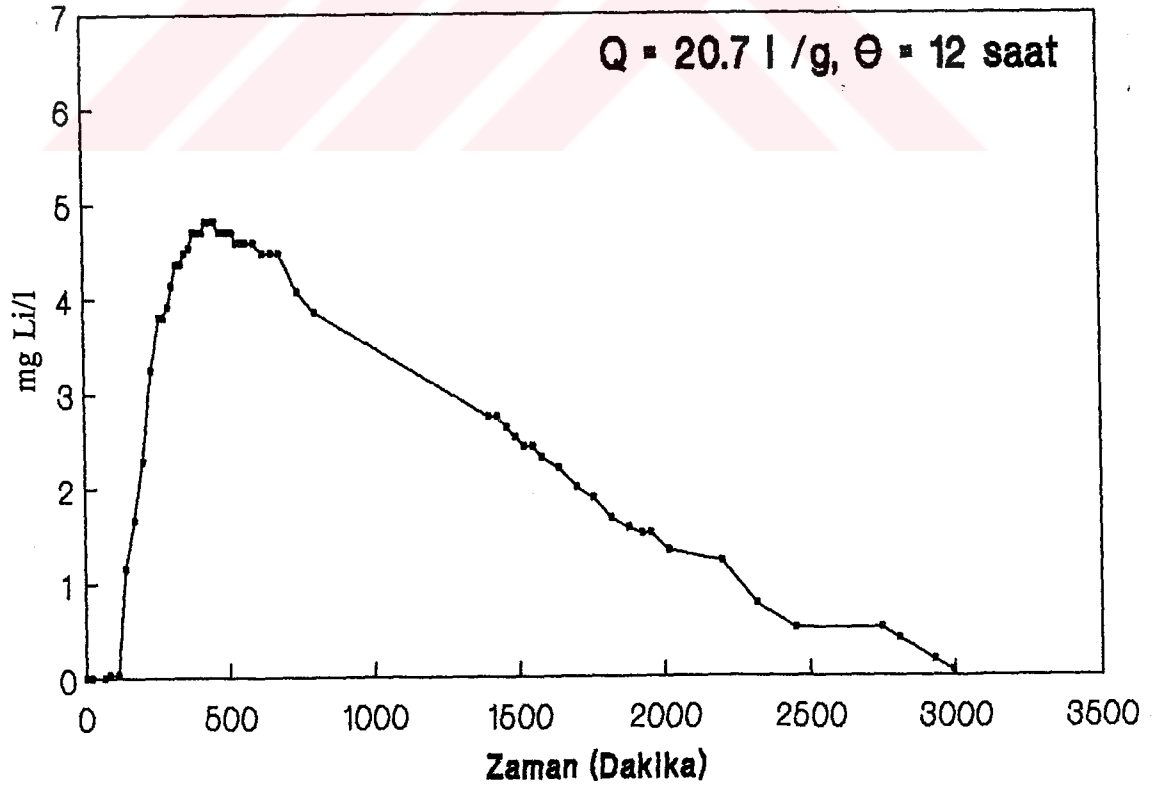
Bu çalışmada, reaktördeki boyuna dispersiyon katsayısının belirlenmesi için LiCl ile deneyler yapılmıştır. Reaktör içinde ortalama Li konsantrasyonu 10 mg/l olacak şekilde sisteme girişten ani olarak LiCl enjekte edilmiştir. Üç farklı bekleme zamanı için reaktör çıkışında lityumun zamana bağlı değişimi ölçülmüştür. Herbir seride uygulanan bekletme zamanının en az üç katı kadar bir süre boyunca reaktör çıkışındaki Li konsantrasyonu izlenmiştir. Bu üç seriden elde edilen çıkış Li konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimleri şekil 7.1, 7.2 ve 7.3 'te görülmektedir.

Sisteme ait dispersiyon katsayısını hesaplamak için reaktör kapalı bir sistem olarak kabul edilmiş, Levenspiel(1972) [96] tarafından verilen ve Bölüm 6.2'de belirtilen eşitlikler kullanılarak dispersiyon katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 7.1).

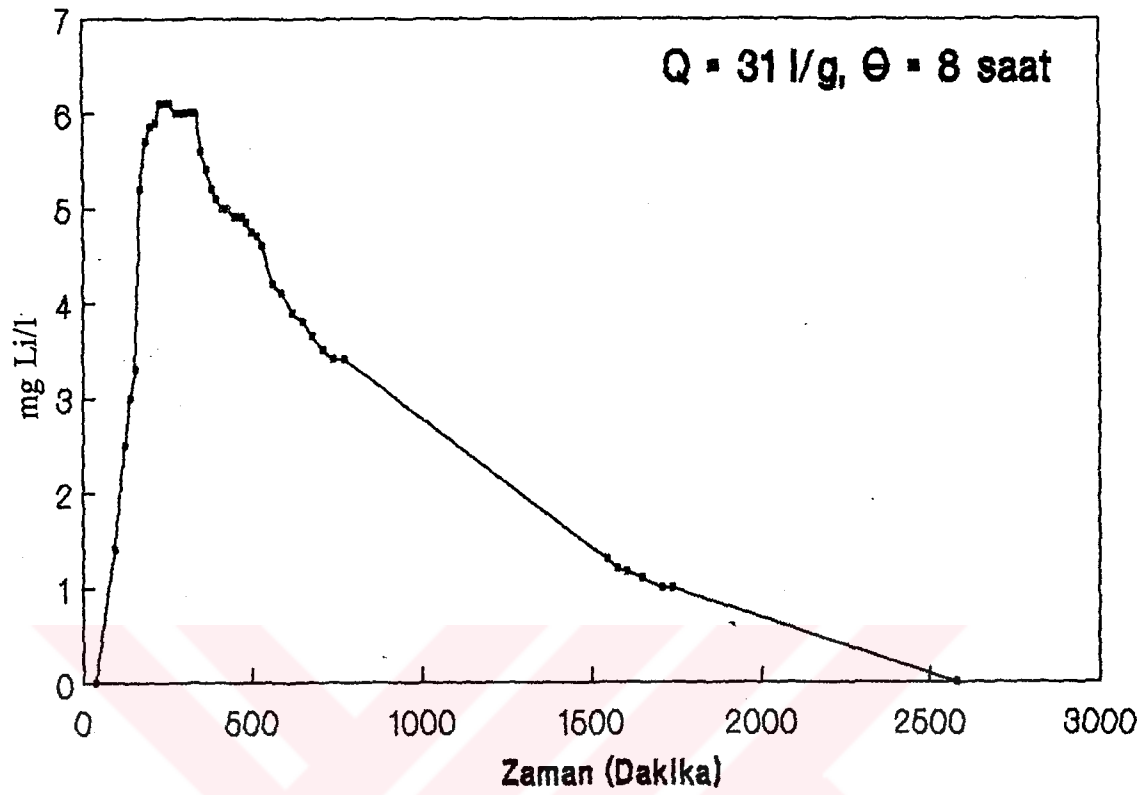
Çalışmada reaktör girişine ani olarak verilen Li kalış süreleri dağılımı izlenmiş ve  $E(\theta)-\theta$  eğrileri elde edilmiştir. Şekil 7.4, 7.5 ve 7.6'dan da görüldüğü üzere reaktördeki hidrolik kalış süreleri dağılımı değişimleri belli oranda ölü bölgeye sahip reaktörlere ait tipik eğrilere uymaktadır.

Tablo 7.1. Lityum Klorür ile Yapılan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

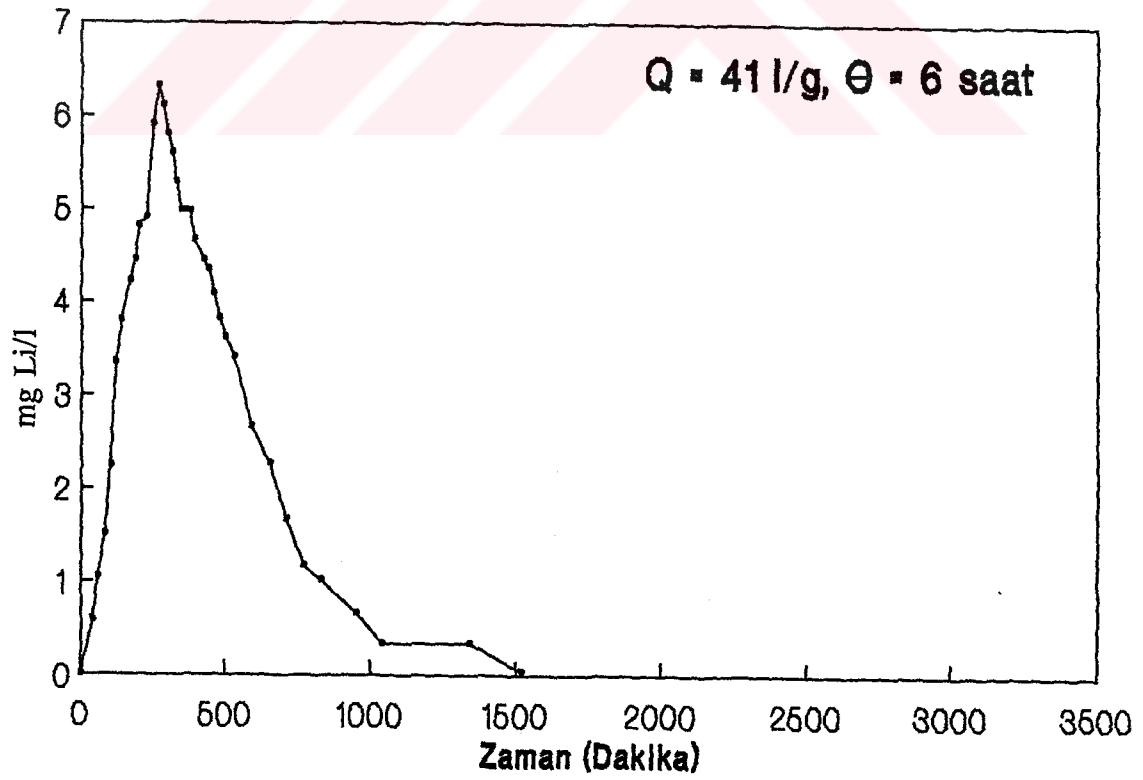
| Debi  | $\Sigma C_i$ | $\Sigma t_i \cdot C_i$ | $\Sigma t_i^2 \cdot C_i$ | $\frac{\Sigma t_i^2 C_i}{\Sigma C_i} - \frac{[\frac{\Sigma t_i C_i}{\Sigma C_i}]^2}{\Sigma C_i}$ | $\sigma^2$ | $d = \frac{D}{UL}$ | $Pe = d^{-1}$ | Geri kazanılan Li<br>$\Sigma C_i \cdot Q \cdot \Delta t$ |
|-------|--------------|------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|--------------------|---------------|----------------------------------------------------------|
| l/gün | mg/l         |                        |                          |                                                                                                  |            |                    |               | mg/l                                                     |
| 20.7  | 163.942      | $1.185 \cdot 10^5$     | $1.357 \cdot 10^8$       | $3.055 \cdot 10^6$                                                                               | 0.589      | 0.541              | 1.85          | 88.759                                                   |
| 31    | 182.771      | $7.863 \cdot 10^4$     | $4.885 \cdot 10^7$       | $8.22 \cdot 10^4$                                                                                | 0.357      | 0.231              | 4.33          | 95.131                                                   |
| 41    | 119.484      | $4.1 \cdot 10^4$       | $1.761 \cdot 10^7$       | $2.961 \cdot 10^4$                                                                               | 0.228      | 0.131              | 7.63          | 81.68                                                    |



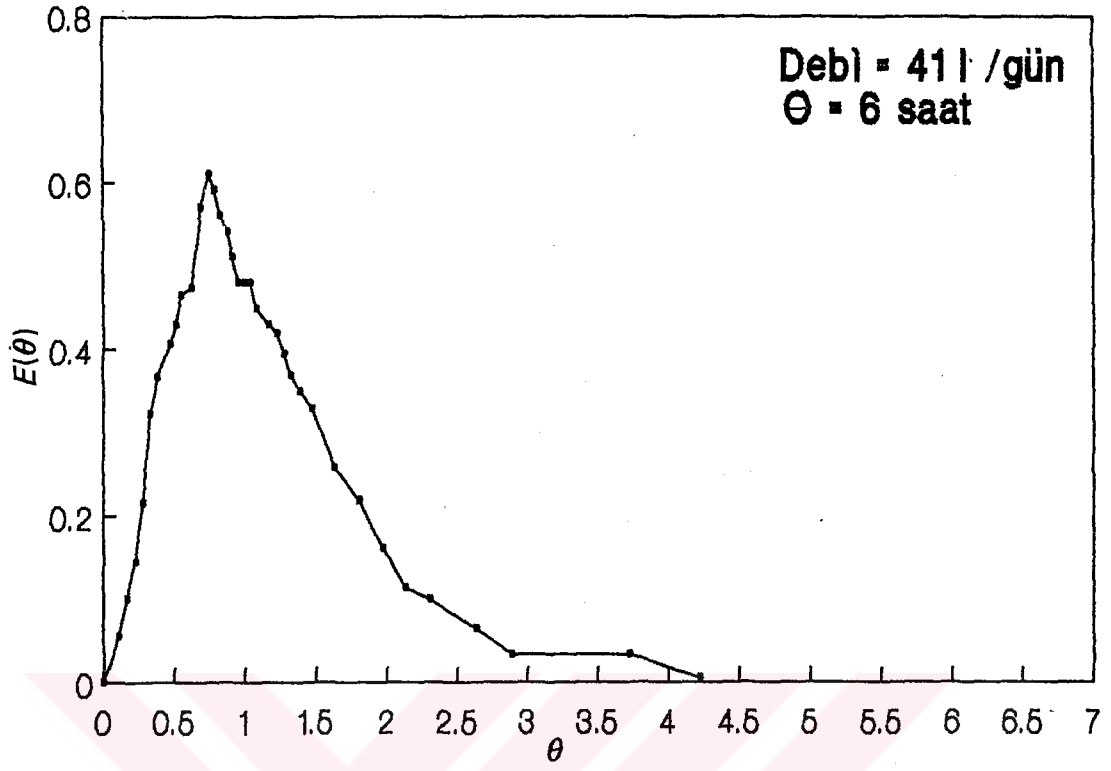
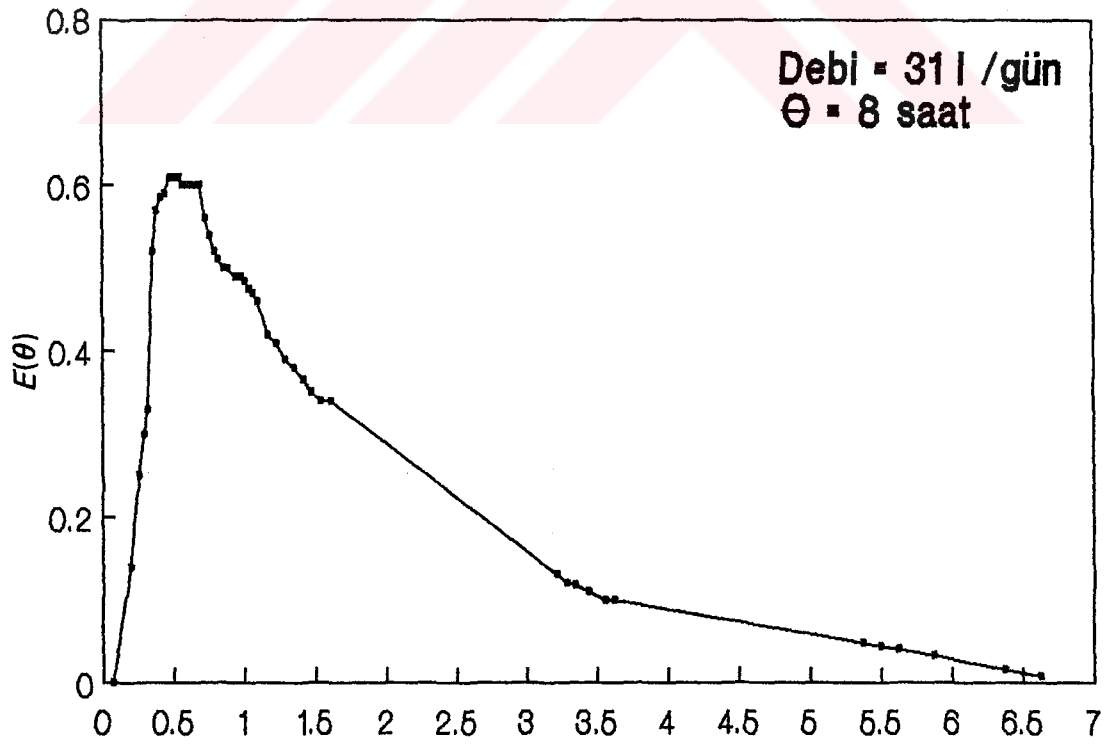
Şekil 7.1. Reaktör Çıkışında Lityum Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

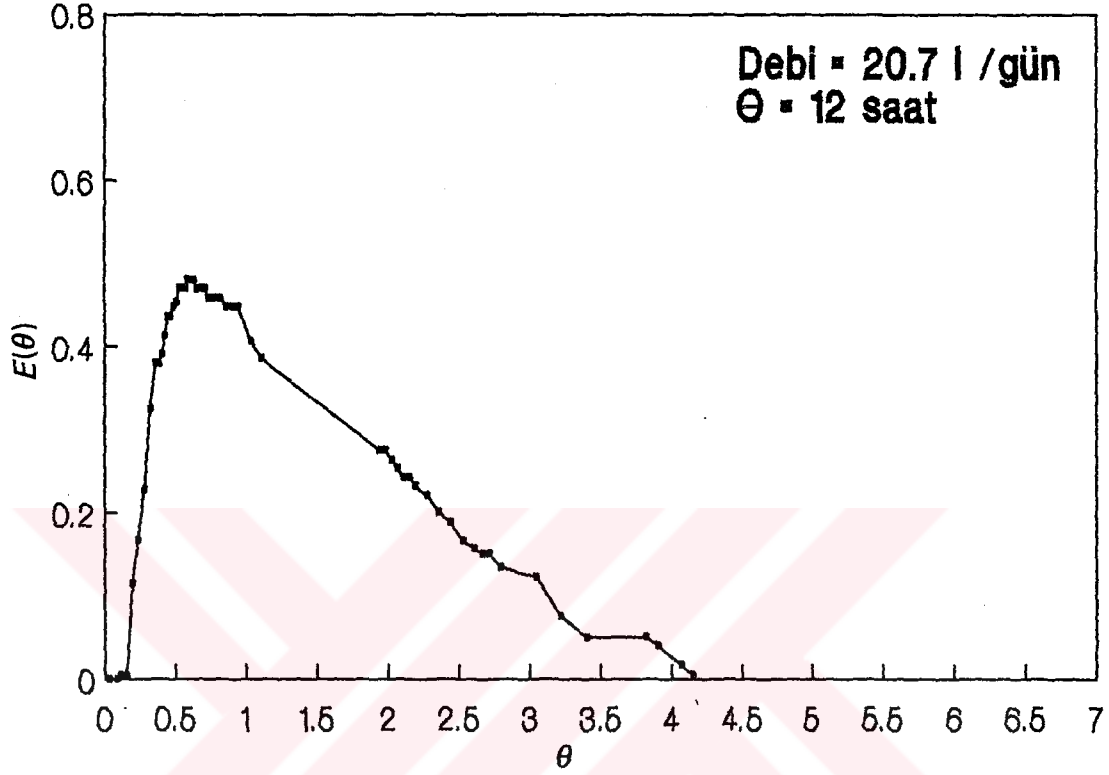


Şekil 7.2. Reaktör Çıkışında Lityum Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 7.3. Reaktör Çıkışında Lityum Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

Şekil 7.4.  $E(\theta)$ - $\theta$  Eğrisi ( $Q = 41$  l/gün)Şekil 7.5.  $E(\theta)$ - $\theta$  Eğrisi ( $Q = 31$  l/gün)

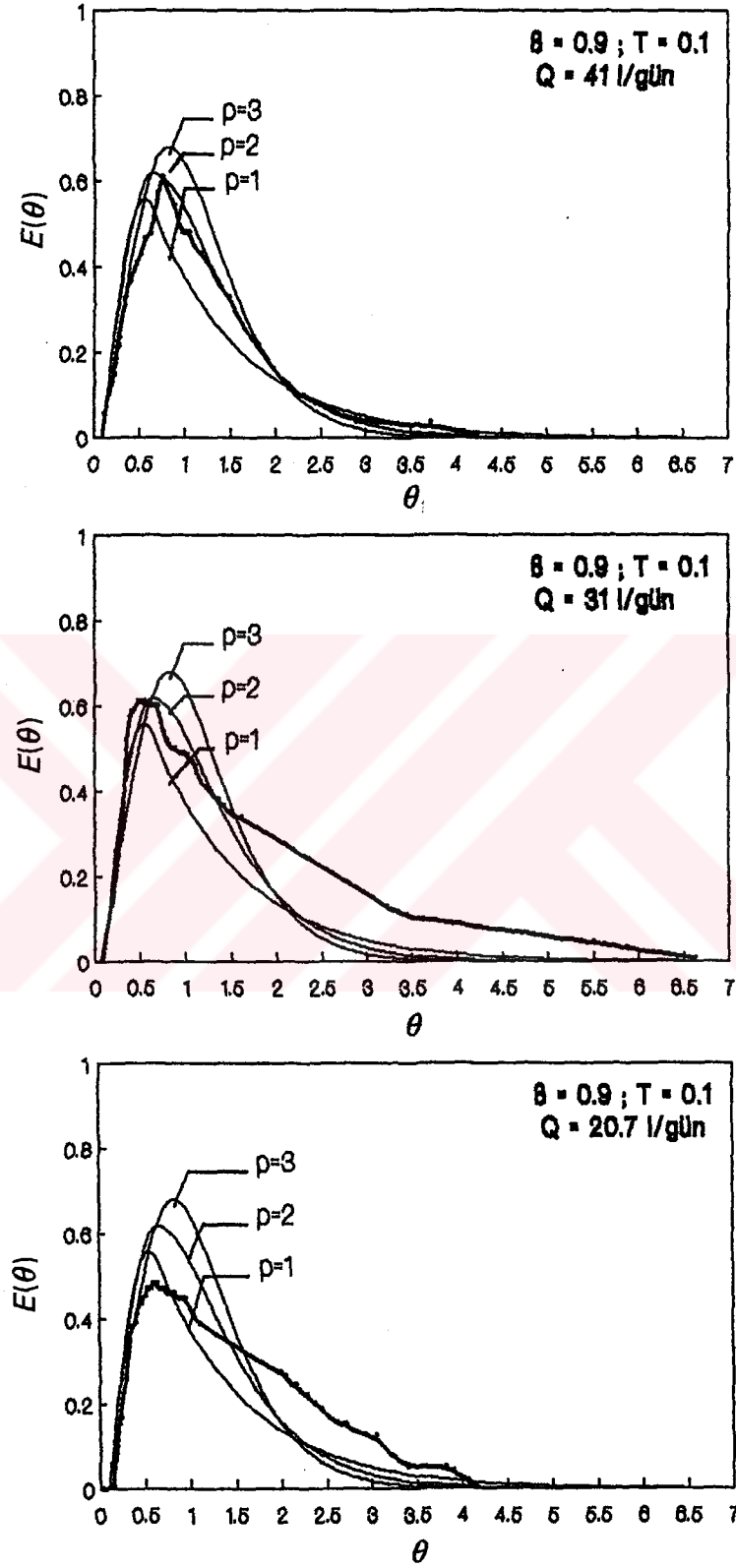


Şekil 7.6.  $E(\theta)$ - $\theta$  Eğrisi ( $Q = 20.7$  l/gün)

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar; Gama Dağılımı ve genelleştirilmiş Gama fonksiyonlarına uygulanmıştır. Bu sonuçların genelleştirilmiş gama dağılımına daha uygun olduğu görülmüştür. Söz konusu modelin parametreleri  $\beta = 0.9$ ,  $\tau = 0.1$  ve  $p = 2$  olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre çalışmada kullanılan havasız çamur yatağı sistemi ardışık iki tam karışımli reaktör ile bunları izleyen bir piston akımlı reaktör grubu gibi düşünülebilir (Şekil 7.7).

$$\beta = Q_1 / Q_T = 0.9$$

$$\tau = V_2 / V_T = 1 - V_1 / V_T = 0.1$$



Şekil 7.7. Deneysel Çalışmadan Elde Edilen  $E(\theta)$ - $\theta$  Eğrilerinin Geliştirilmiş Gama Fonksiyonu Eğrileri İle Karşılaştırılması

### İz Maddesi Deneyinden Elde Edilen Sonuçların Literatür İle Karşılaştırılması

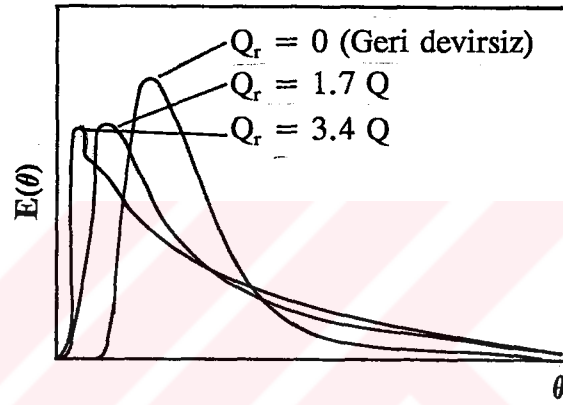
Reaktör hidrodinamiğini incelemek için yapılan çalışmalar; reaktör yüksekliği, gaz debisi, organik yük, reaktörün debi dağıtım sistemi, çamur yatağının yüksekliği, girişteki askıda katı vb. pek çok faktörden etkilenmektedir. Ayrıca iz maddesi deneyleri için uniform bir metod oluşturmak oldukça önemli bir noktadır. Rocha vd. (1987) tarafından HÇYR'lerde aynı iz madde deneyinin farklı tipten izmaddesi için oldukça farklı sonuçlar verebileceği belirtilmektedir. Bu deneylerdeki hatalar; kullanılan iz maddesi ve reaktör sıvısı arasındaki yoğunluk farkından dolayı iz maddesinin yükselen kısmının geri dönmesi nedeniyle oluşan difüzyon ile biyokitledeki absorpsiyon gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır [41].

Kennedy ve Droste(1991) [98], yoğunluk farkı oluşturmadığı için laboratuvar ölçekli çalışmalarda en güvenilir iz maddesinin "tritium" olduğunu, Rozzi(1990) ise ani enjeksiyon metodunun sürekli(step) enjeksiyona göre hidrodinamik deneylerde daha iyi bilgiler verdiğini belirtmiştir [41]. Samson ve diğ.(1985) geri devir yapılmaksızın, 10-15 kg KOİ/m<sup>3</sup>/gün 'lük organik yük aralığında, aşağı akışlı sabit yataklı reaktörlerde dispersiyonlu piston akım (dispersiyon sayısı = 0.18 - 0.30) özelliğini gözlemişlerdir [99]. Yüksekliği fazla olan reaktörlerde daha iyi karışım olmakta ve daha yüksek KOİ giderimleri elde edilmektedir [100]. Gaz üretiminin yüksek olduğu geri devirli sistemlerde akım ideal tam karışıma yaklaşılmaktadır [98].

Young ve Dahab(1983)'ın havasız filtre ile yaptığı çalışmalar, reaktörün; temiz yatakta çalışıldığında piston akım (dispersiyon sayısı = 0.03), 6 aylık işletmeden sonra biyolojik ortamda ise tam karışım (dispersiyon sayısı > 10) özelliği gösterdiği ve reaktörde önemli miktarda ölü bölge bulunduğunu göstermektedir [101].

Van der Meer ve diğ.(1979) tarafından LiCl ile HÇYR'de yapılan deneyler sonucunda reaktörün piston akımlı bir bölge (çökeltme kısmı) ile tam karışımli iki bölgeden (çamur yatağı ve çamur örtüsü) ibaret olduğunu tesbit edilmiştir. Hall (1984,1985) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise HÇYR'e  $Q_r = 10 \cdot Q$  oranında geri devir uygulanarak ideal tam karışımli reaktör olarak çalıştırılmış ve giriş

akımının %3'den daha azının bay-pass olduğu tahmin edilmiştir [25]. HÇYR ve HGY reaktörlerde yapılan iz maddesi deneyleri sonucunda kısmi olarak piston akımlı bulunan reaktör geri devirle tam karışımlı hale getirilmiştir. Sözkonusu çalışmada geri devir oranı 1.7 iken % 10 , 3.4 olması durumunda ise % 40'lık bir yatak genişmesi oluşturularak sistemin tam karışımlı hale gelmesi sağlanmıştır (Şekil 7.8) [68].



Şekil 7.8. Boyutsuz Zaman ve Konsantrasyon Eğrileri [68]

Timur'un (1986) havasız filtrede yaptığı dispersiyon deneyleri, dispersiyon sayısının 0.1-0.23 arasında değiştiğini ve filtre hidroliğinin dispersiyonlu piston akım düzenine karşı geldiğini göstermiştir [36].

Çiler(1985) tarafından HÇYR'de gerçekleştirilen çalışmada ise organik yük ve gaz üretiminin artışına paralel olarak reaktörün dispersiyon sayısının arttığı belirtilmiştir. Sistemde denenilen organik yüklerde (0-13 kg KOİ/m<sup>3</sup>/gün) dispersiyon sayıları çamur tabakasında 0.19-0.24, çamur örtüsünde ise 0.22-0.25 olarak tesbit edilmiş ve reaktörün dispersiyonlu piston akıma özelliğine sahip olduğu belirlenmiştir [102].

Bu çalışmada elde edilen boyutsuz zaman ve konsantrasyon eğrilerine ait şekillerden görüldüğü üzere; debi arttıkça veya diğer bir ifade ile hidrolik bekleme süresi

azaldıkça sistem seri bağılı iki tam karışımli reaktör davranışı gösterirken; hidrolik bekleme süresi arttıkça ölü bölgenin arttığı tam karışımli bir reaktör hali gözlenmektedir. Bu olay; debinin az olması durumunda sistemde yatay düzlemde daha iyi karışım oluştuğu ve dolayısıyla akımın tam karışıma yaklaştığı, debinin yüksek olması durumunda ise reaktöre giren atıksuyun hızla yükselip ilkin çamur yatağında sonra çamur örtüsünde dağılarak iki ayrı karışım bölgesi oluşturması ile açıklanabilir. Eysel atıksular gibi seyreltik atıksuların havasız çamur yataklı sistemlerde arıtılması durumunda genelde yüksek hidrolik yükler uygulanacağından bu tip reaktörlerin genelleştirilmiş gama dağılımı modelinin verdiği sonuçlara göre çamur yatağının ve çamur örtüsünün iki ayrı tam karışımli reaktör ve çamur örtüsünün üzerinde kalan çökeltme bölmesinden hemen önceki hacmin de piston akım özelliğine sahip olduğu söylenebilir.

## 7.2. MODEL REAKTÖRDE YAPILAN DENEYLER

Eysel atıksuların havasız arıtımının incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda tablo ve şekiller halinde verilmiştir. Çalışma yaklaşık üç yıl sürmüş ve aralıklarla üç farklı devrede tamamlanmıştır. Dolayısıyla bu üç devrede reaktörü beslemede kullanılan atıksu değişik özellikler göstermektedir (Tablo 7.2). 63-273 ve 378-654 günlerde İstanbul'da uygulanan genel su kesintisi ve kampuste yaz tatili dolayısıyla gerekli özelliklerde atıksu sağlanamadığı için deneysel çalışma yapılamamıştır. Çalışma boyunca 7 farklı kararlı halde çalışılmıştır (Tablo 7.3). Bu kararlı hallere ait minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 7.4'de çalışma boyunca gözlenen bütün değerlere ait dağılımlar ise Tablo 7.5'de verilmiştir.

Tablo 7.2. Çalışmanın Değişik Devrelerinde Kullanılan Atıksuların Temel Özellikleri

| PARAMETRE                                              | I.DEVRE<br>(1-62.gün) | II.DEVRE<br>(274-377.gün)   | III.DEVRE<br>(655-935.gün)                                               |
|--------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| KOİ-Giriş (mg/l)                                       | 230-610[445]          | 67-550[255]<br>32-780[380]  | 216-255[240]<br>55-580[230]<br>90-520[245]<br>140-475[290]               |
| pH                                                     | 6.6-8.6[7.6]          | 6.3-8.4[7.6]<br>7.6-8.5[8]  | 7.5-8.4[7.9]<br>5.6-9.6[8]<br>6-7.8[7]<br>6.3-8.5[7.7]                   |
| Alkalinite (mg/l)                                      | 150-700[470]          | 75-600[265]<br>130-500[275] | 175-275[220]<br>25-600[260]<br>70-250[140]<br>125-360[245]               |
| Hacimsel<br>Organik Yük*<br>(KgKOİ/m <sup>3</sup> gün) | 0.89 (30 ± 5°C)       | 0.266-0.375<br>(30 ± 5°C)   | 0.32 (30 ± 5°C)<br>0.69 (20 ± 5°C)<br>0.97 (20 ± 5°C)<br>0.58 (20 ± 5°C) |

□ içindeki değerler ortalama değerleri

\* Hacimsel organik yük değerleri her bir kararlı hal boyunca uygulanan ortalama değerleri

() Parantez içindeki değerler her bir kararlı haldeki reaktör sıcaklığını göstermektedir.

Tablo 7.3. Kararlı Hal İşletme Parametreleri

| Başlangıçtan<br>İtibaren<br>Süre(gün) | Debi(l/gün) | $\theta$ (gün) | Organik<br>Yük<br>(kg KOİ/m <sup>3</sup> .g) | Hidrolik<br>Yük, L <sub>H</sub><br>(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .g) |
|---------------------------------------|-------------|----------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1-62                                  | 20.7        | 0.5            | 0.890                                        | 2                                                                      |
| 274-350                               | 10.8        | 0.96           | 0.266                                        | 1.04                                                                   |
| 350-377                               | 22.2        | 0.46           | 0.395                                        | 2.15                                                                   |
| 655-674                               | 13.8        | 0.75           | 0.320                                        | 1.33                                                                   |
| 675-816                               | 31          | 0.33           | 0.690                                        | 3                                                                      |
| 817-921                               | 41          | 0.25           | 0.970                                        | 3.97                                                                   |
| 922-935                               | 20.7        | 0.5            | 0.580                                        | 2                                                                      |

Tablo 7.4. Çalışmada Ulaşılan Çeşitli Kararlı Hallerde Parametrelerin Aldığı Değerler

[ Q = 20.7 l/gün,  $\theta$  = 12 saat , 1-62 gün ]

| PARAMETRE              | MAKSIMUM                                            | MINIMUM | ORTALAMA | STANDART SAPMA |
|------------------------|-----------------------------------------------------|---------|----------|----------------|
| KOI-Giriş(mg/l)        | 610                                                 | 230     | 445      | 120            |
| KOI-Çıkış(mg/l)        | 160                                                 | 50      | 98       | 32             |
| pH-Giriş               | 8.6                                                 | 6.6     | 7.6      | 0.6            |
| pH-Çıkış               | 8.1                                                 | 6.9     | 7.4      | 0.4            |
| Alkalinite-G(mg/l)     | 700                                                 | 150     | 470      | 183            |
| Alkalinite-Ç(mg/l)     | 650                                                 | 175     | 515      | 168            |
| Verim(%)               | 88                                                  | 61      | 72       | Q=20.7 l/G     |
| Organik Yük (ortalama) | 0.89 kgKOl/m <sup>3</sup> -gün ; Sıcaklık 30 ± 5 °C |         |          |                |

[Q=10.8 l/gün,  $\theta$  = 23 saat, 274-350.gün]

| PARAMETRE          | MAKSIMUM                                             | MINIMUM | ORTALAMA | STANDART SAPMA |
|--------------------|------------------------------------------------------|---------|----------|----------------|
| KOI-Giriş(mg/l)    | 550                                                  | 67      | 255      | 120            |
| KOI-Çıkış(mg/l)    | 195                                                  | 34      | 73       | 34             |
| pH-Giriş           | 8.4                                                  | 6.3     | 7.6      | 0.5            |
| pH-Çıkış           | 8.2                                                  | 7.5     | 7.8      | 0.2            |
| Alkalinite-G(mg/l) | 600                                                  | 75      | 265      | 105            |
| Alkalinite-Ç(mg/l) | 750                                                  | 175     | 335      | 139            |
| Verim(%)           | 88                                                   | 44      | 69       | Q=10.8 l/G     |
| Organik Yük(Ort.)  | 0.266 kgKOl/m <sup>3</sup> -gün ; Sıcaklık 30 ± 5 °C |         |          |                |

Tablo 7.4. (Devam)

[Q=22.2 l/gün,  $\theta = 11$  saat, 350-377.gün]

| PARAMETRE              | MAKSIMUM                                                 | MINIMUM | ORTALAMA | STANDART SAPMA |
|------------------------|----------------------------------------------------------|---------|----------|----------------|
| KOI-Giriş(mg/l)        | 780                                                      | 32      | 378      | 230            |
| KOI-Çıkış(mg/l)        | 274                                                      | 20      | 114      | 71             |
| pH-Giriş               | 8.5                                                      | 7.6     | 8        | 0.3            |
| pH-Çıkış               | 8.4                                                      | 7.4     | 7.8      | 0.3            |
| Alkalinite-G(mg/l)     | 500                                                      | 130     | 275      | 985            |
| Alkalinite-Ç(mg/l)     | 650                                                      | 200     | 377      | 140            |
| Verim(%)               | 79                                                       | 38      | 65       | Q=22.2 l/G     |
| Organik Yük (Ortalama) | 0.395 kgKOl/m <sup>3</sup> -gün ; Sıcaklık 30 $\pm$ 5 °C |         |          |                |

[Q=13.8 l/gün,  $\theta = 18$  saat, 655-674.gün]

| PARAMETRE              | MAKSIMUM                                                 | MINIMUM | ORTALAMA | STANDART SAPMA |
|------------------------|----------------------------------------------------------|---------|----------|----------------|
| KOI-Giriş(mg/l)        | 255                                                      | 216     | 240      | 17             |
| KOI-Çıkış(mg/l)        | 86                                                       | 74      | 70       | 17             |
| pH-Giriş               | 8.4                                                      | 7.5     | 7.9      | 0.4            |
| pH-Çıkış               | 8                                                        | 7       | 7.5      | 0.4            |
| Alkalinite-G(mg/l)     | 275                                                      | 175     | 218      | 35             |
| Alkalinite-Ç(mg/l)     | 700                                                      | 220     | 386      | 185            |
| Verim(%)               | 82                                                       | 60      | 70       | Q=13.8 l/G     |
| Organik Yük (Ortalama) | 0.320 kgKOl/m <sup>3</sup> -gün ; Sıcaklık 30 $\pm$ 5 °C |         |          |                |

Tablo 7.4.(Devam)

[Q=31 l/gün,  $\theta = 8$  saat, 675-816.gün]

| PARAMETRE             | MAKSIMUM                                             | MINIMUM | ORTALAMA | STANDART SAPMA |
|-----------------------|------------------------------------------------------|---------|----------|----------------|
| KOI-Giriş(mg/l)       | 580                                                  | 55      | 230      | 113            |
| KOI-Çıkış(mg/l)       | 168                                                  | 20      | 77       | 40             |
| pH-Giriş              | 9.6                                                  | 5.6     | 8        | 0.6            |
| pH-Çıkış              | 9.66                                                 | 7       | 8        | 0.5            |
| Alkalinite-G(mg/l)    | 600                                                  | 25      | 260      | 114            |
| Alkalinite-Ç(mg/l)    | 600                                                  | 100     | 294      | 105            |
| Verim(%)              | 93                                                   | 38      | 62       | Q=31 l/G       |
| Organik Yük(Ortalama) | 0.690 kgKOl/m <sup>3</sup> -gün ; Sıcaklık 30 ± 5 °C |         |          |                |

[Q=41 l/gün,  $\theta = 6$  saat, 817-921.gün]

| PARAMETRE              | MAKSIMUM                                             | MINIMUM | ORTALAMA | STANDART SAPMA |
|------------------------|------------------------------------------------------|---------|----------|----------------|
| KOI-Giriş(mg/l)        | 520                                                  | 90      | 244      | 125            |
| KOI-Çıkış(mg/l)        | 150                                                  | 30      | 65       | 42             |
| pH-Giriş               | 7.81                                                 | 6       | 7        | 0.4            |
| pH-Çıkış               | 7.9                                                  | 7       | 7.4      | 0.3            |
| Alkalinite-G(mg/l)     | 250                                                  | 70      | 138      | 53             |
| Alkalinite-Ç(mg/l)     | 225                                                  | 120     | 166      | 37             |
| Verim(%)               | 90                                                   | 42      | 73       | Q=41 l/G       |
| Organik Yük (Ortalama) | 0.970 kgKOl/m <sup>3</sup> -gün ; Sıcaklık 25 ± 5 °C |         |          |                |

Tablo 7.4.(Devam)

[Q=20.7 l/gün,  $\theta$  = 12 saat, 922-935.gün]

| PARAMETRE              | MAKSIMUM                                             | MINIMUM | ORTALAMA | STANDART SAPMA |
|------------------------|------------------------------------------------------|---------|----------|----------------|
| KOI-Giriş(mg/l)        | 475                                                  | 140     | 290      | 105            |
| KOI-Çıkış(mg/l)        | 145                                                  | 30      | 76       | 40             |
| pH-Giriş               | 8.5                                                  | 6.3     | 7.7      | 0.8            |
| pH-Çıkış               | 7.5                                                  | 6.4     | 6.8      | 0.4            |
| Alkalinite-G(mg/l)     | 360                                                  | 125     | 246      | 83             |
| Alkalinite-Ç(mg/l)     | 240                                                  | 140     | 212      | 42             |
| Verim(%)               | 90                                                   | 58      | 73       | Q=20.7 l/G     |
| Organik Yük (Ortalama) | 0.580 kgKOl/m <sup>3</sup> -gün ; Sıcaklık 25 ± 5 °C |         |          |                |

Tablo 7.5. Çalışmanın Başlangıcından İtibaren Çeşitli Parametrelerin Aldığı Değerler

| PARAMETRE          | MAKSIMUM        | MINIMUM | ORTALAMA | STANDART SAPMA |
|--------------------|-----------------|---------|----------|----------------|
| KOI-Giriş(mg/l)    | 780             | 32      | 270      | 144            |
| KOI-Çıkış(mg/l)    | 274             | 20      | 78       | 44             |
| pH-Giriş           | 9.6             | 5.6     | 7.8      | 0.65           |
| pH-Çıkış           | 9.66            | 6.4     | 7.8      | 0.5            |
| Alkalinite-G(mg/l) | 700             | 25      | 260      | 130            |
| Alkalinite-Ç(mg/l) | 750             | 100     | 310      | 145            |
| Verim(%)           | 93              | 38      | 69       |                |
| Sıcaklık (°C)      | 30 ± 5 ; 25 ± 5 |         |          |                |

Deneysel çalışma yukarıda Tablo 7.2’de görüldüğü üzere üç farklı devrede gerçekleşmiş ve net olarak 445 gün sürmüştür. Atıksu bulunamadığı zamanlar sistem evsel atıksu özelliklerinde hazırlanmış sentetik atıksu ile beslenmiştir. Dolayısıyla

sistemde her zaman aktif biyokitle mevcut olup, yeniden işletmeye alma durumu ile karşılaşılmamıştır.

### 7.2.1. Organik Yük ve KOİ Bakımından Değerlendirme

Çalışma süresince organik yük  $0.2 - 1 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$  aralığında değişmiş ve 7 kararlı hal oluşmuştur. Bu kararlı hallere ait giriş ve çıkış KOİ'leri ile verim değerleri Tablo 7.6'da verilmiştir.

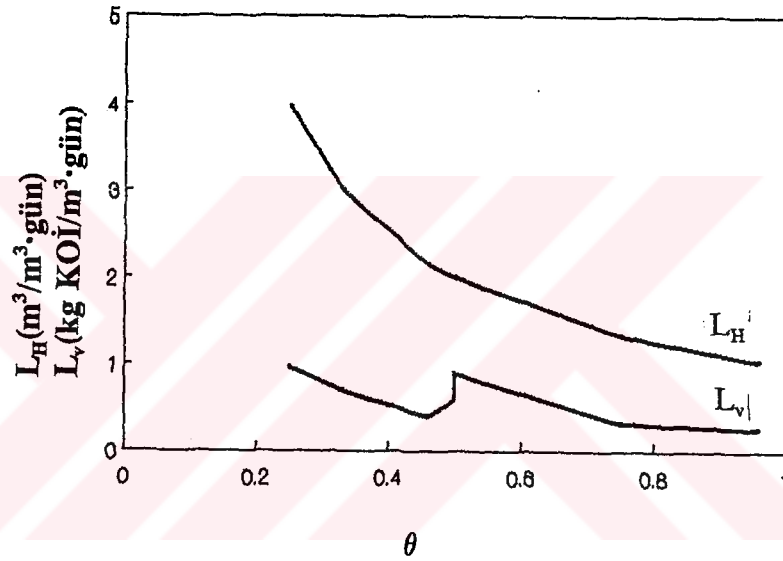
Tablo 7.6. Kararlı Hal İşletme Sonuçları

| Zaman(gün) | Hacimsel Organik Yük<br>(Kg KOİ/m <sup>3</sup> .gün) | Giriş KOİ'si<br>S <sub>0</sub> , (mg/l) | Çıkış KOİ'si<br>S <sub>1</sub> , (mg/l) | KOİ<br>Giderme<br>Verimi<br>E(%) |
|------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| 1-62       | 0.890                                                | 445                                     | 98                                      | 78                               |
| 274-350    | 0.266                                                | 255                                     | 73                                      | 71                               |
| 351-377    | 0.395                                                | 378                                     | 114                                     | 70                               |
| 655-674    | 0.320                                                | 240                                     | 70                                      | 71                               |
| 675-816    | 0.690                                                | 230                                     | 77                                      | 67                               |
| 817-921    | 0.970                                                | 244                                     | 65                                      | 73                               |
| 922-935    | 0.580                                                | 290                                     | 76                                      | 74                               |

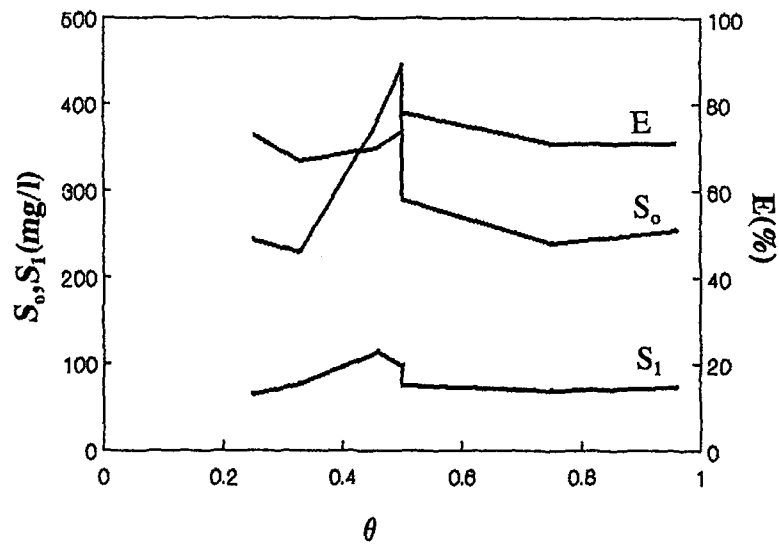
Organik ve hidrolik yükün, hidrolik bekleme süresine göre değişimi Şekil 7.9'da verilmiştir. Atıksuyun giriş özellikleri büyük bir salınım gösterdiğinden hidrolik bekleme süresi ile organik yük arasında belirgin bir ilişki olmamakla birlikte  $\theta$  arttıkça hacimsel organik yük ( $L_v$ ) ile azalma eğilimindedir. Hidrolik yük  $\theta$ 'nın artışı ile azalmaktadır. Giriş KOİ'sinin artışına bağlı olarak çıkış KOİ'sinde de bir miktar artış olmaktadır. Çalışma süresinde ulaşılan kararlı hallerde KOİ giderimleri % 67 ile % 78 arasında gerçekleşmiştir (Şekil 7.10). Sistem kararlı hale ulaştığında çıkış KOİ değeri genelde 50 mg/l civarında ölçülmüştür. Burada verilen KOİ değerleri her bir kararlı hal boyunca ölçülen değerlerin ortalaması olarak ifade edildiğinden Tablo 7.6'da verilen değerler bu değerlerden daha yüksektir. Giriş KOİ'sinin

miktarına bağlı olarak çıkış KOİ'sinde artış olmakta ve verimde azalma gözlenmektedir.

Şekil 7.11'de organik yüke bağlı olarak sistemdeki ortalama biyokitle ve çıkıştaki askıda katı maddenin değişimi görülmektedir. Sistem çıkışındaki askıda katı madde genelde  $\approx 20$  mg/l civarında olup çıkış KOİ'sine bağlı olarak 50 mg/l civarına yükselebilmektedir. Kararlı haller için hesaplanan ortalama biyokitle miktarının organik yük ile belirgin bir ilişkisi gözlenmemiştir.



Şekil 7.9. Hidolik Bekleme Süresi ( $\theta$ ) İle Organik ve Hidrolik Yükün Değişimi



Şekil 7.10.  $\theta$ 'ya Bağlı Olarak  $S_o$ ,  $S_1$  ve  $E$  (verim)'nin Değişimi

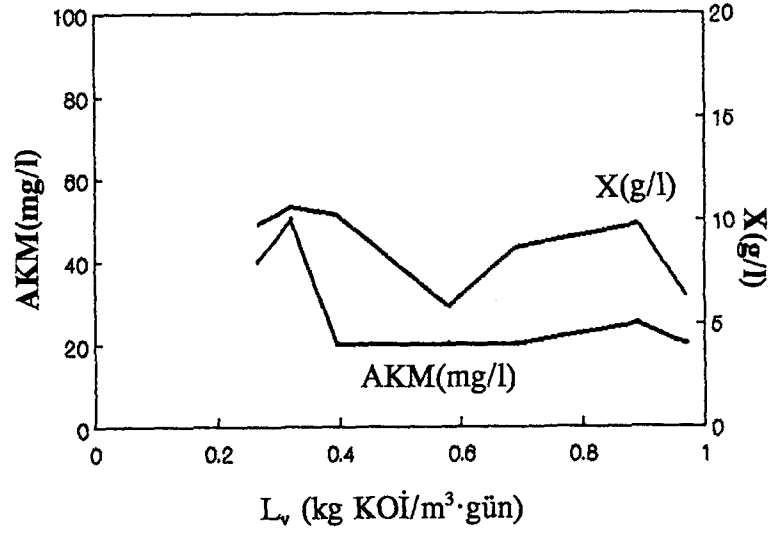
KOI giderim hızı,  $R_L$ , organik yükün artışı ile artma eğiliminde olup ortalama değeri % 70 olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.12).

Çalışmanın I.devresinde giriş KOİ'si nisbeten yüksek ( $\approx 300-600$  mg/l) olup sistemde ortalama %78'lik KOİ giderimi elde edilmiştir. Çıkış KOİ'si giriş KOİ'sine bağlı olarak değişmektedir( Şekil 7.13). Çalışmanın II.Devresinde giriş KOİ'si belirgin bir salınım gösterirken çıkış KOİ'si bu durumdan fazla etkilenmemiştir (Şekil 7.14). Çalışmanın III.devresinde ise giriş KOİ'sinin oldukça büyük bir salınım göstermesine karşılık çıkış KOİ'leri de 30-150 mg/l aralığında değerler almıştır (Şekil 7.15).

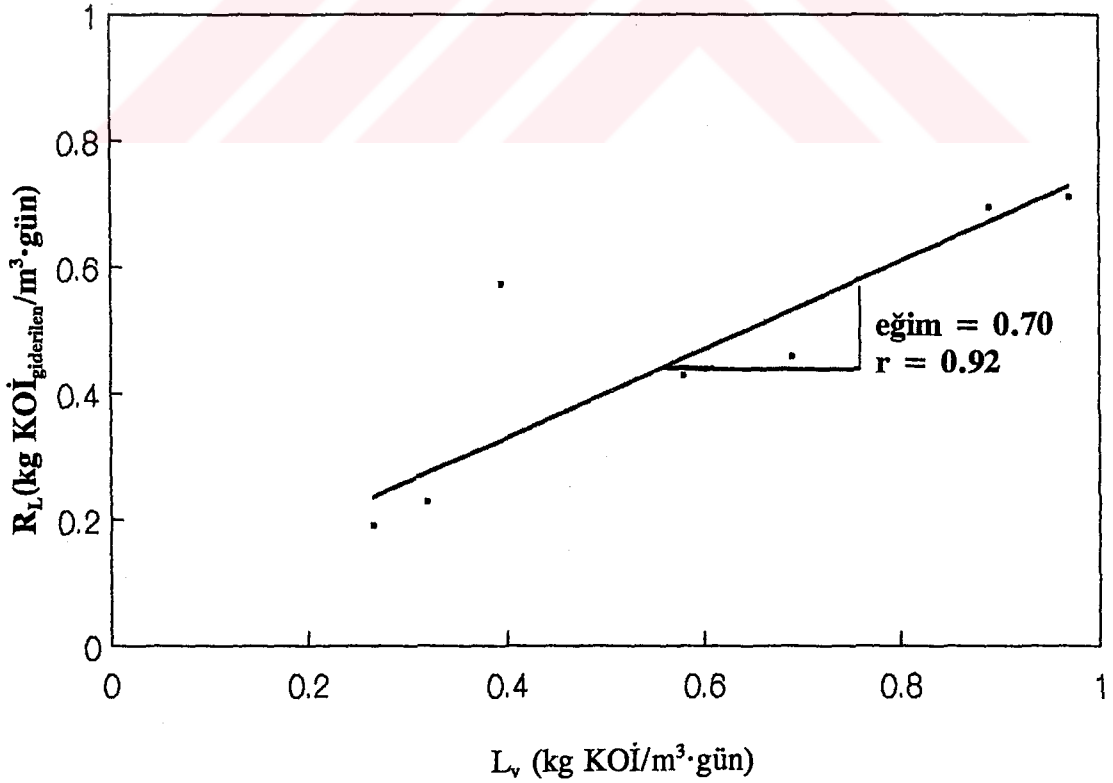
#### 7.2.2. Sıcaklık, pH ve Alkalinite

Havasız arıtma prosesinin kararlılığının en önemli göstergelerinden biri olan pH ve alkalinite deneysel çalışma boyunca sürekli olarak izlenmiştir. Reaktörün fizikokimyasal durumu günlük olarak sürekli ölçülen pH ve alkalinite parametreleri ile sürekli kontrol edilmiştir. Çalışma boyunca sisteme pH ve alkaliniteyi dengelemek için hiçbir kimyasal madde ilavesi yapılmamıştır. Çalışma süresince reaktördeki alkalinite atıksuyun alkalinitesine (140 - 275 mg/l) göre bir miktar artış göstererek 210 -520 mg/l aralığında gerçekleşmiştir. pH'nın 9 sınırına yaklaştığı hallerde ise sistemde amonyak yükselmesi verim düşmüştür. Çalışmada ulaşılan ilk 5 kararlı halde sistem  $30 \pm 5$  °C , diğer ikisinde ise  $25 \pm 5$  °C'de çalıştırılmıştır.

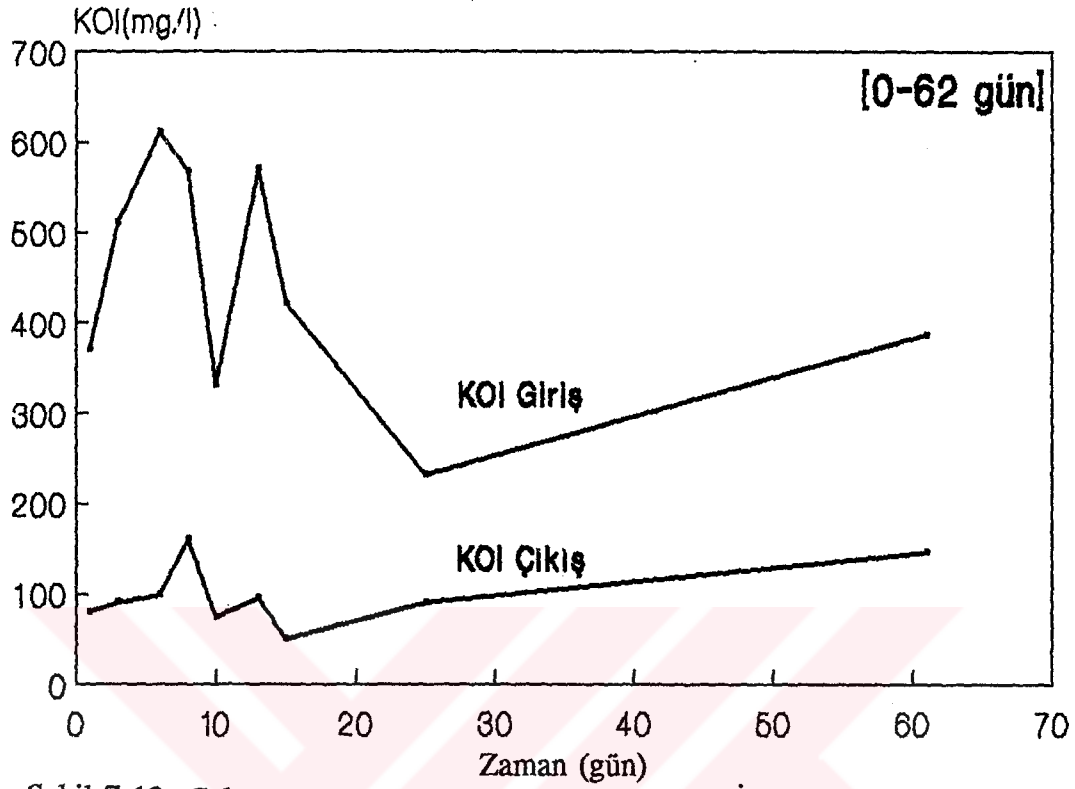
Çalışmanın ilk iki devresinde sistemde giriş pH'ı büyük bir salınım göstermesine rağmen çıkış pH'sı nisbeten dengelenmekte ve nötr değerler almaktadır (Şekil 7.16- Şekil 7.17). Söz konusu devrede pH ile ilgili hiçbir problemle karşılaşılmasına rağmen çalışmanın III.devresinde giriş pH'ının 10'a kadar artışı ile birlikte ciddi problemler oluşmuştur. Sistemde pH'nın yükselmesiyle birlikte amonyak büyük bir tehlike oluşturmuş ve çıkış KOİ'sinin oldukça yüksek değerler almasına neden



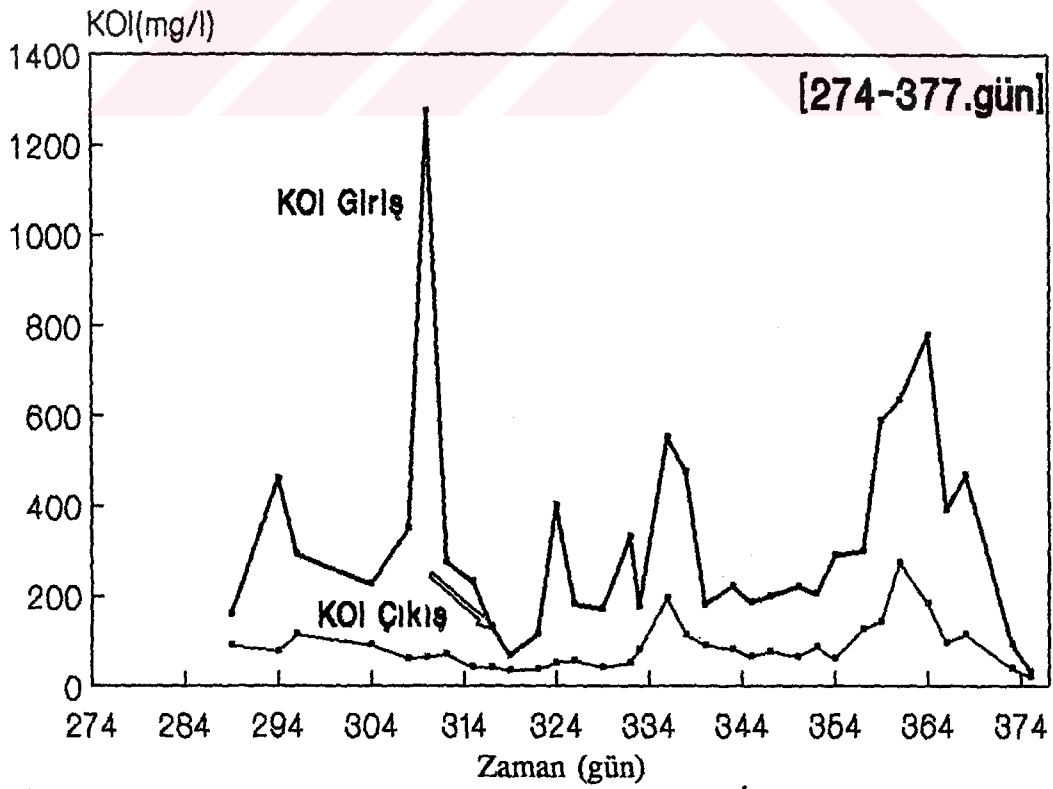
Şekil 7.11.  $L_v$  İle Ortalama Biyokitle ve Askıda Katı Maddenin Değişimi



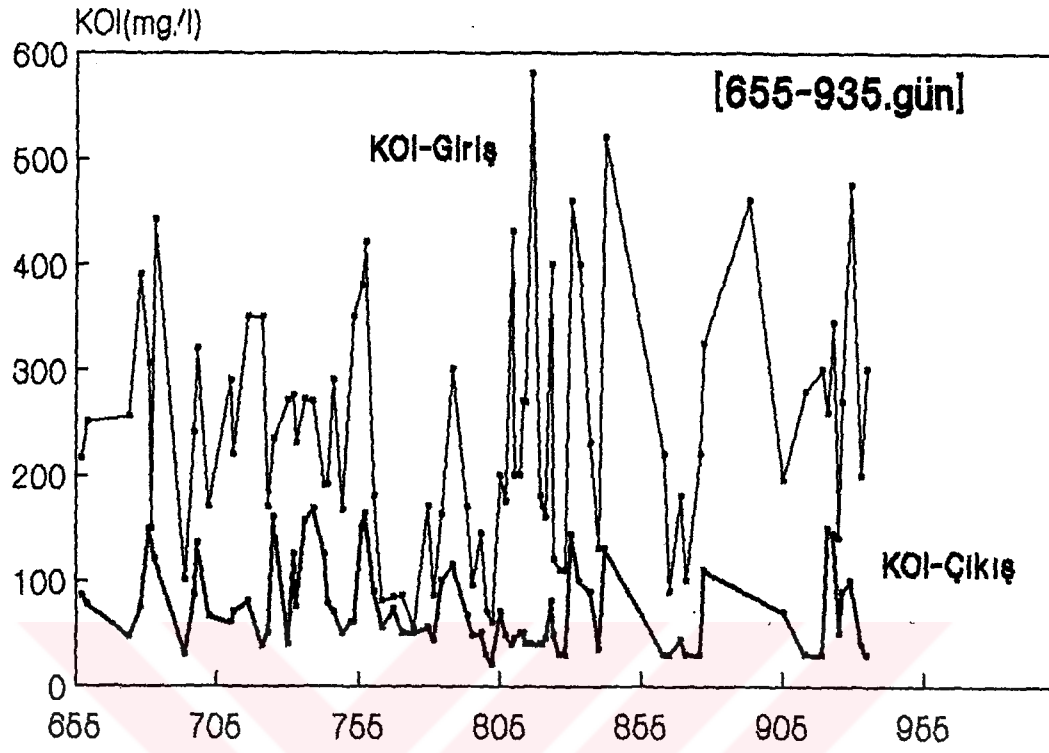
Şekil 7.12. KOİ Giderme Hızı  $R_L$  'nin Organik Yükle Değişimi



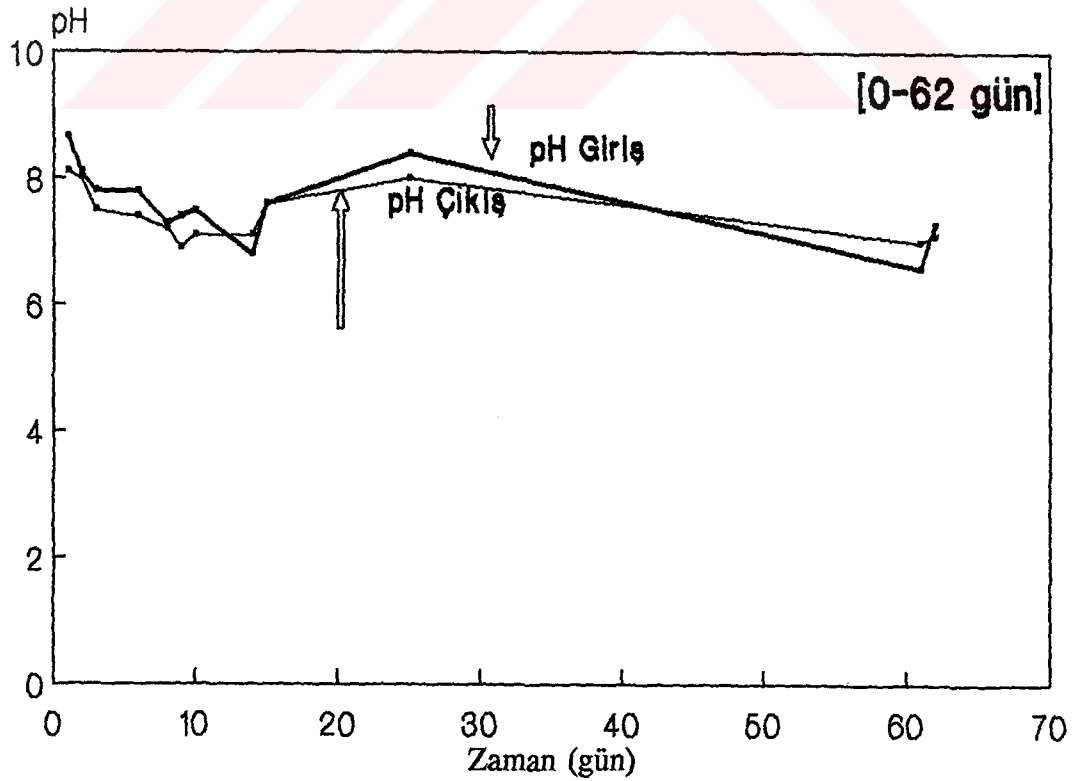
Şekil 7.13. Çalışmanın I. Devresinde Giriş-Çıkış KOİ'lerinin Zamanla Değişimi



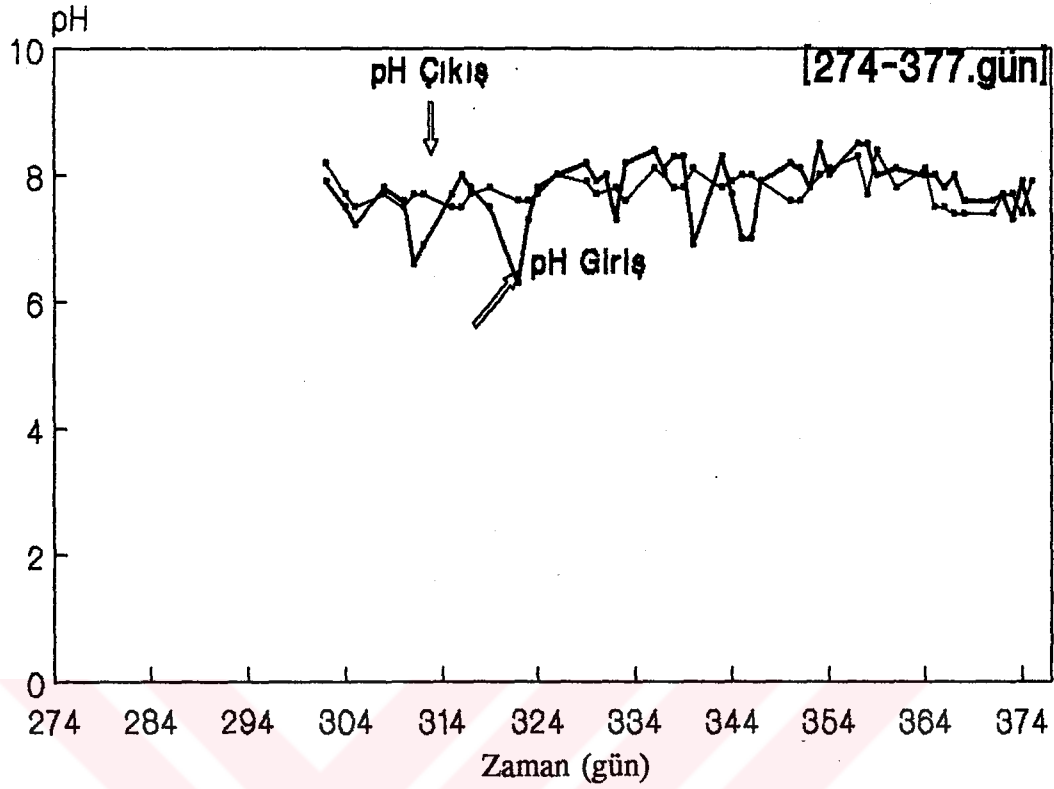
Şekil 7.14. Çalışmanın II. Devresinde Giriş-Çıkış KOİ'lerinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.15. Çalışmanın III. Devresinde Giriş-Çıkış KOİ'lerinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.16. Çalışmanın I. Devresinde Giriş-Çıkış pH'larının Zamanla Değişimi

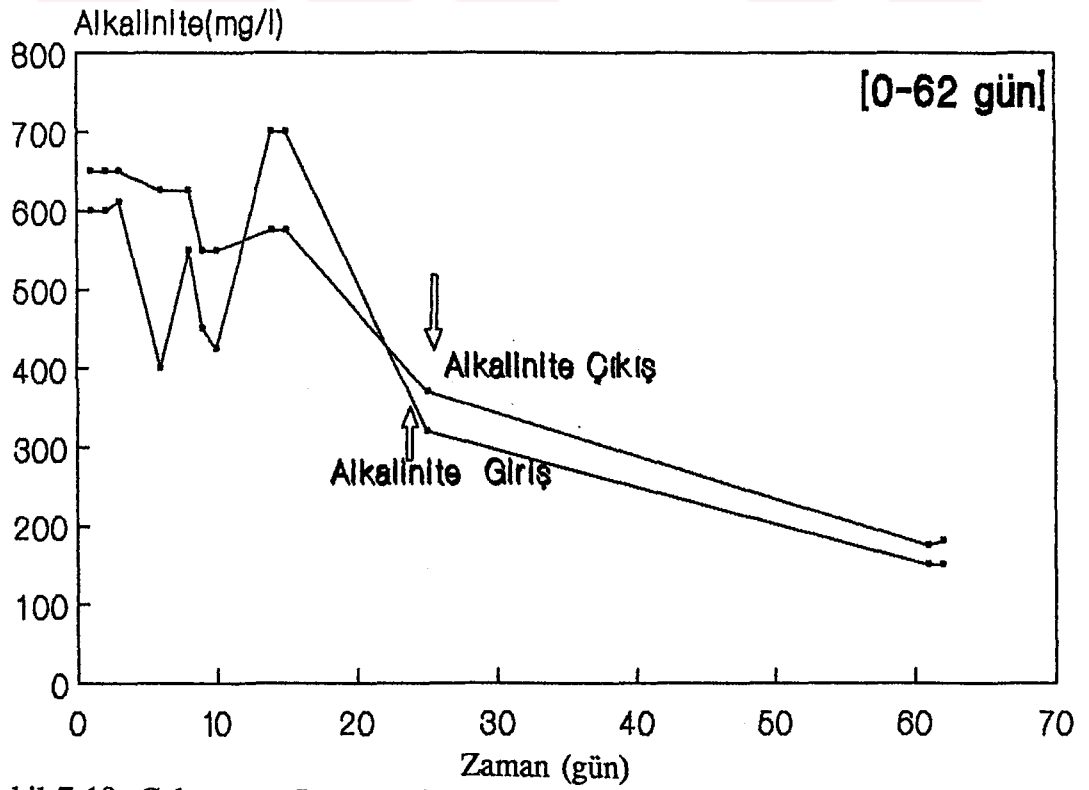
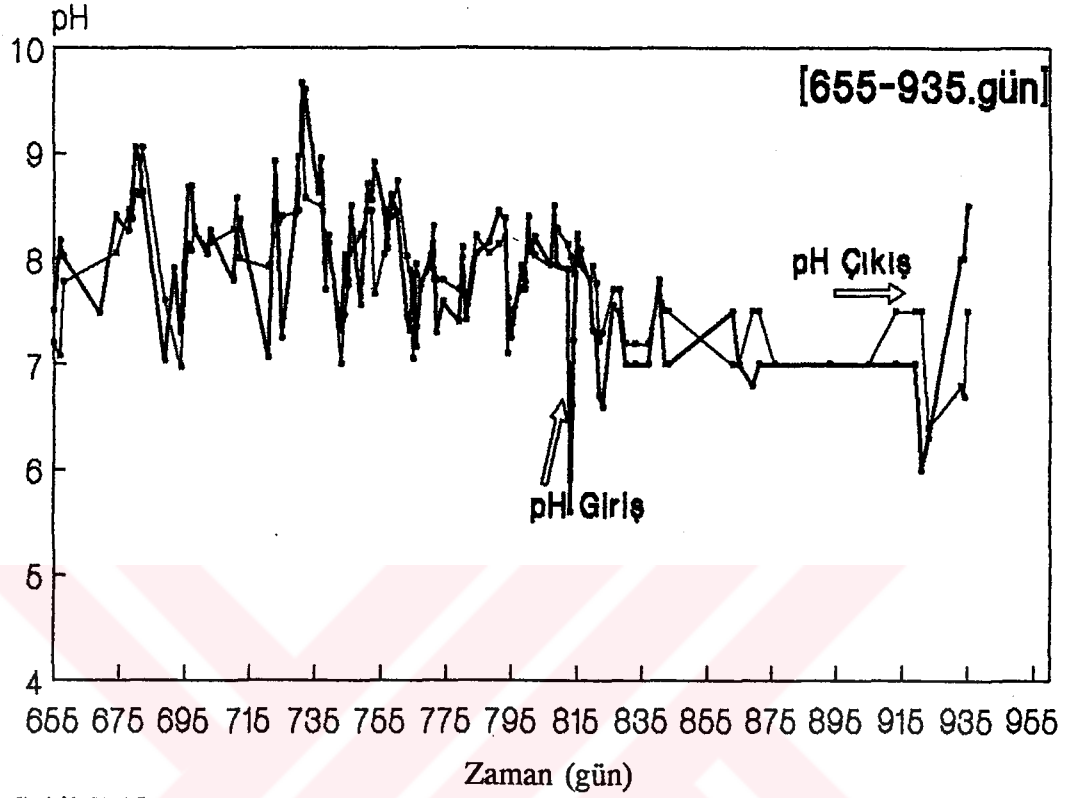


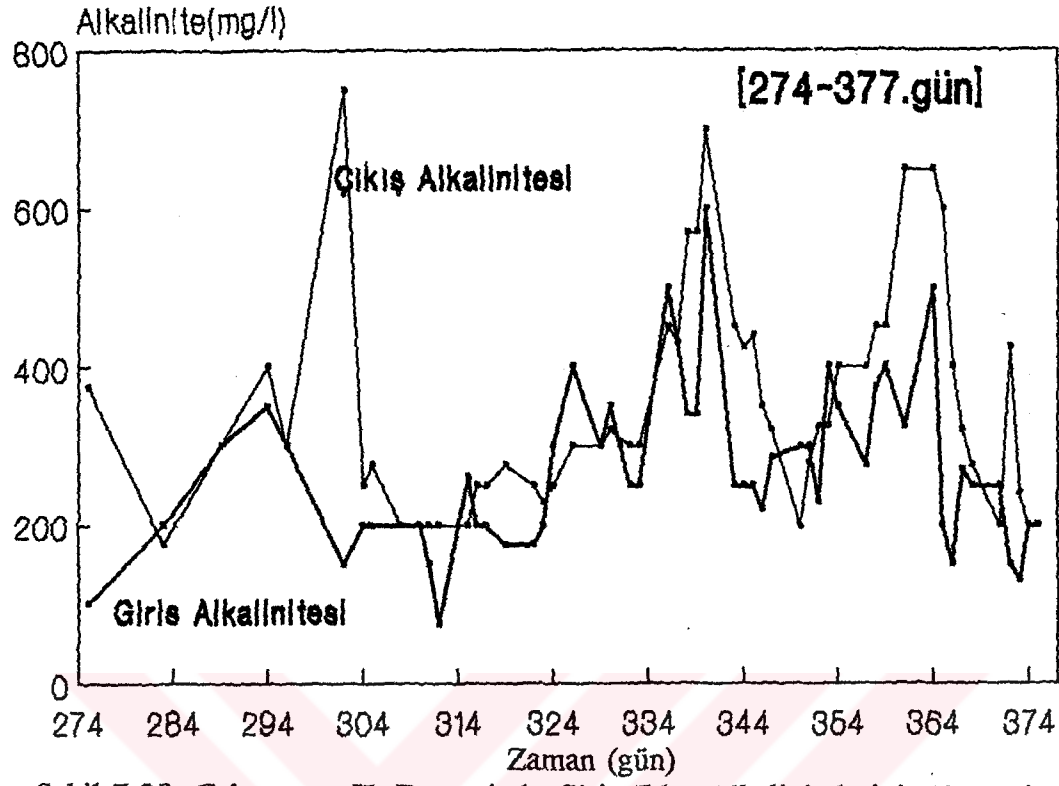
Şekil 7.17. Çalışmanın II. Devresinde Giriş-Çıkış pH'larının Zamanla Değişimi

olmuştur (Şekil 7.18). Bu durumda sistemin normal hale dönebilmesi için girişte pH ayarlaması yapılmış ve sistem amonyağın yıkanması için kısa bir süre ( $\approx 1$  gün) musluk suyu ile beslenmiştir. Söz konusu şartlarda sistemdeki amonyak konsantrasyonu 220 mg/l'ye kadar yükselmiştir.

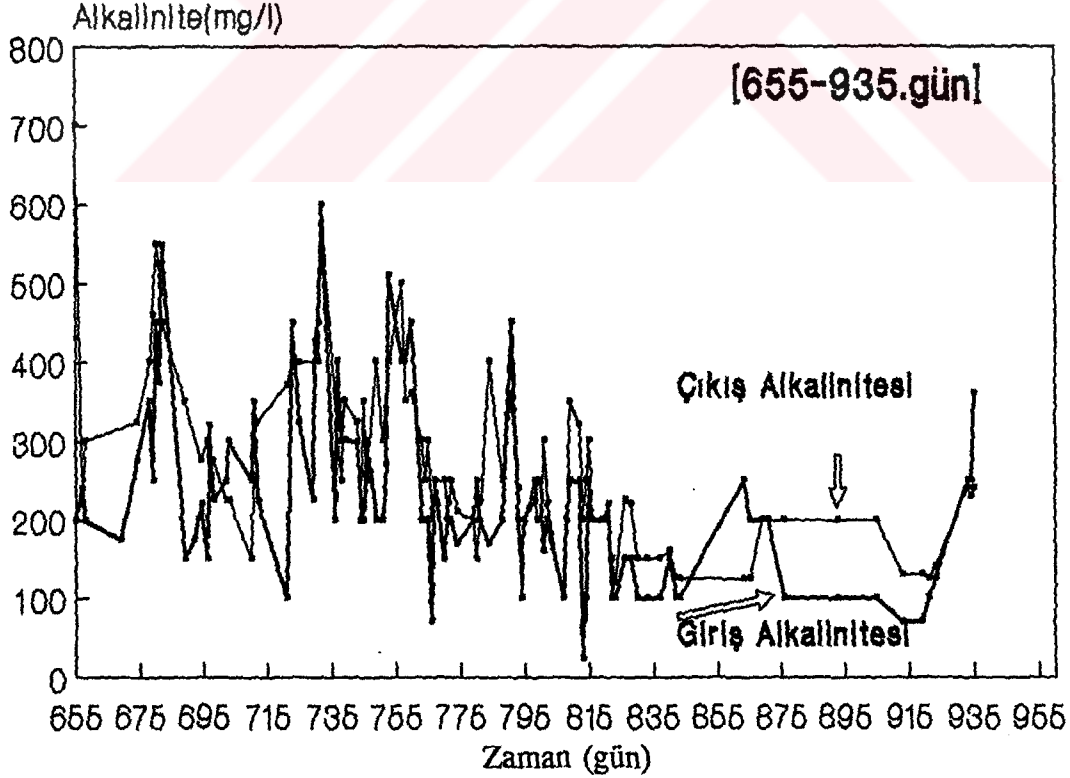
### 7.2.3. Biyokitle

Reaktördeki biyokitle dağılımını belirlemek üzere, deneysel çalışma boyunca kararlı hallerde reaktörün çeşitli seviyelerinden alınan çamur numunelerinde uçucu katı madde deneyleri yapılmıştır. Reaktörde biyokitle dağılımının homojen olmadığı ve yer yer su ceplerinin teşekkül ettiği gözlenmiştir (Şekil 7.22). Organik yükün artışına bağlı olarak sistemde biyokitle azalması olmakla birlikte, reaktör bu azalmadan fazla etkilenmemekte, başka bir deyişle  $\approx 6000$  mg/l gibi oldukça düşük ortalama biyokitle değerlerinde bile sistem kararlılığını koruyabilmektedir. Çalışmanın devam ettiği ilk iki kararlı hal süresince reaktörün tabanından itibaren





Şekil 7.20. Çalışmanın II. Devresinde Giriş-Çıkış Alkalinitelerinin Zamanla Değişimi



Şekil 7.21. Çalışmanın III. Devresinde Giriş-Çıkış Alkalinitelerinin Zamanla Değişimi

Biyokitle Miktarının Reaktör Boyunca Değişimi üç , 3 ve 4. kararlı halde dört numune alma ağızında yoğun olan biyokitle miktarı son üç kararlı halde iki numune ağızına kadar düşme göstermiştir. Bu nedenle reaktördeki ortalama biyokitlenin bu kararlı haller için daha düşük değerler almasına neden olmuştur.

Her bir kararlı hal için çamur yaşı ( $\theta_c$ ),

$$\theta_c = \frac{X \cdot V}{(Q - Q_w) \cdot X_e + Q_w \cdot X_w} \quad (7.1)$$

$Q$  : Sisteme verilen atıksu debisi (mg/l)

$X_e$  : Çıkıştaki UKM konsantrasyonu (mg/l)

$X$  : Reaktördeki ortalama biyokitle konsantrasyonu (mg/l)

$V$  : Reaktör hacmi (l)

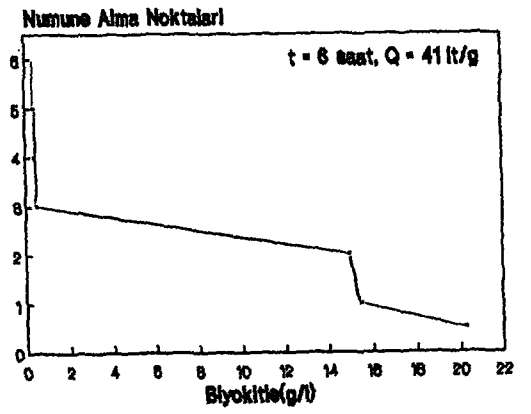
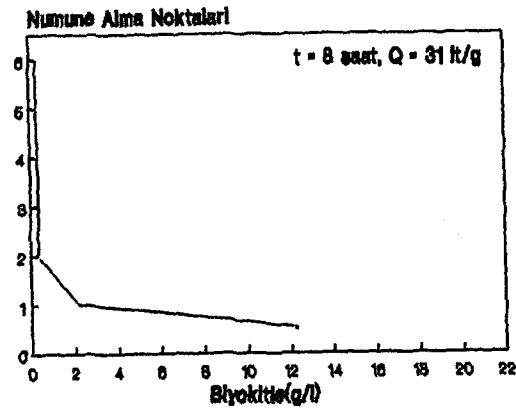
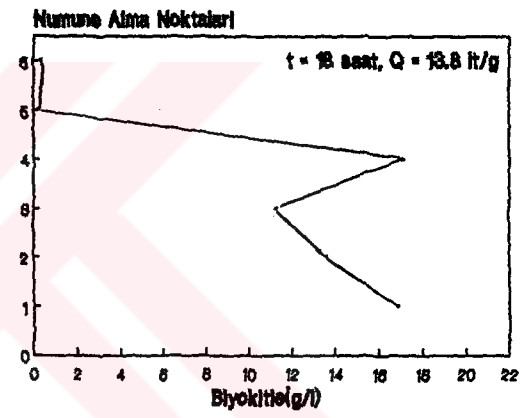
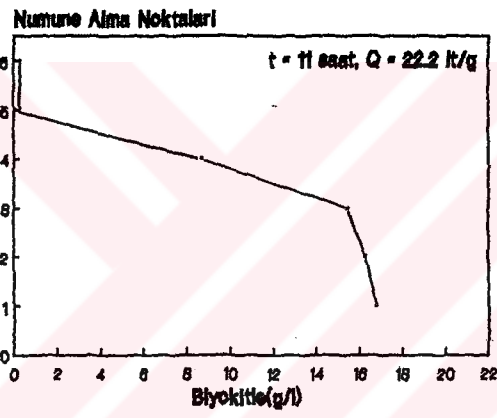
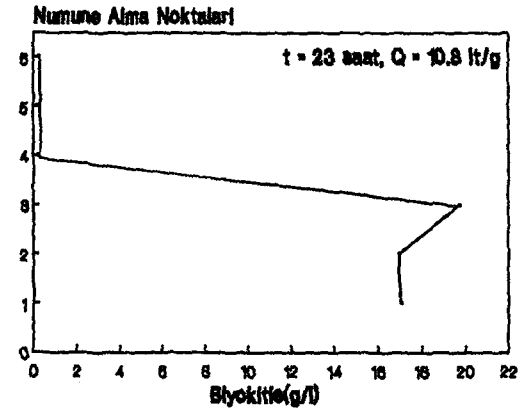
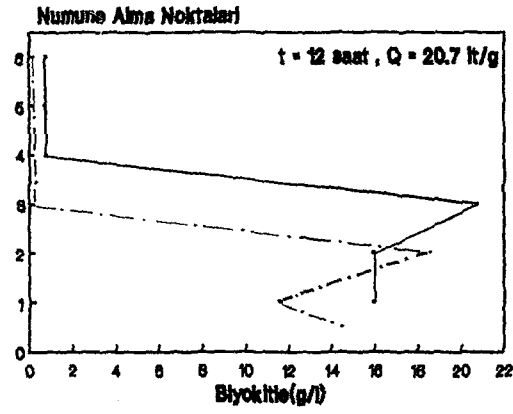
$X_w$  : Sistemden atılan fazla çamurun UKM konsantrasyonu (mg/l)

$Q_w$  : Sistemden atılan fazla çamurun debisini (l/gün)

göstermektedir. Reaktörde organik yüke bağlı olarak çamur yaşının aldığı değerler reaktördeki ortalama biyokitle miktarına ve reaksiyon bölgesindeki ortalama biyokitle miktarına göre hesaplanmış ve Tablo 7.7'de verilmiştir.

Tablo 7.7. Çamur Yaşının Organik Yükle Değişimi

| $L_v$ | $X$   | $\theta_c$ | $X^*$ | $\theta_c^*$ |
|-------|-------|------------|-------|--------------|
| 0.89  | 9830  | 184        | 17350 | 178          |
| 0.266 | 9830  | 228        | 17780 | 226          |
| 0.395 | 10280 | 219        | 16190 | 191          |
| 0.32  | 10620 | 135        | 14190 | 104          |
| 0.69  | 8690  | 144        | 14770 | 113          |
| 0.97  | 6340  | 78         | 16640 | 96           |
| 0.58  | 5800  | 109        | 14700 | 129          |



Şekil 7.22. Biyokitle Miktarının Reaktör Boyunca Değişimi

#### 7.2.4. Biyogaz Üretimi

Evsel atıksu kullanılarak yapılan bu çalışmada giriş KOİ değerinin nisbeten düşük oluşu dolayısıyla önemli miktarda gaz çıkışı gözlenmemiştir. Ubay(1991) tarafından sentetik evsel atıksu kullanılarak yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarından faydalanarak böyle bir sistemden debiye bağlı olarak yaklaşık 0.5 - 2 l/gün civarında bir gaz oluşacağı söylenebilir [94].

#### 7.3. KINETİK DEĞERLENDİRME

Model havasız çamur yataklı reaktörde 3 yılı aşkın bir sürede gerçekleştirilen bu çalışma sonuçlarının Monod modeline uygulanması ile deneysel çalışmadan elde edilen verilerin bu modele uyum sağlamadığı görülmüştür. Deney verileri ile Monod Modelinin parametreleri  $Y$ ,  $k_d$ ,  $K_s$  ve  $\mu$  değerlerinin hesaplanması mümkün olmamıştır. Deney verileri ikinci mertebe kinetiğine ve Young ve Dahab'ın [103] önerdiği bağıntıya uygulanmış ve bu modellere oldukça yüksek korelasyonla uyum sağladığı görülmüştür.

##### 7.3.1. Deney Sonuçlarının İkinci Mertebe Kinetiğine Uygulanması

Deneysel çalışma sonuçları, Grau ve arkadaşları (1975) tarafından aktif çamur sistemi için geliştirilen İkinci Mertebe Kinetiğine uygulanarak kinetik değerlendirme yapılmıştır.

Bu çalışmada ikinci mertebe KOİ giderim hızı,  $k_2 = 0.217 \text{ gün}^{-1} = 0.009 \text{ saat}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Bu değer  $\text{KOİ} \leq 700 \text{ mg/l}$ 'lik sentetik atıksu için hesaplanan  $k_2 = 1.665 \text{ gün}^{-1} = 0.069 \text{ saat}^{-1}$  [94] değerinden oldukça küçüktür. Bu da evsel atıksuyun sentetik atıksuya göre  $\approx 7$  kez daha düşük hızla ayrıştığını göstermektedir.

Tablo 7.8. İkinci Mertebe Kinetiği Veri Tablosu

| $\theta$ | $S_o$ | $S_1$ | $\frac{S_o \cdot \theta}{S_o - S_1}$ | X     | X/ $S_o$ | a     | $k_2$ | $10^4 k_{2j}$ |
|----------|-------|-------|--------------------------------------|-------|----------|-------|-------|---------------|
| 0.50     | 445   | 98    | 15.39                                | 9830  | 0.045    | 0.14  | 0.32  | 1.63          |
| 0.96     | 255   | 73    | 32.23                                | 9830  | 0.026    | 0.39  | 0.067 | 1.02          |
| 0.46     | 380   | 114   | 15.71                                | 10280 | 0.037    | 0.197 | 0.188 | 1.30          |
| 0.75     | 240   | 70    | 25.41                                | 10620 | 0.023    | 0.32  | 0.073 | 1.23          |
| 0.33     | 230   | 77    | 11.9                                 | 8690  | 0.026    | 0.16  | 0.159 | 3.13          |
| 0.25     | 245   | 65    | 8.18                                 | 6340  | 0.039    | 0.09  | 0.428 | 7.15          |
| 0.50     | 290   | 76    | 16.26                                | 5800  | 0.05     | 0.18  | 0.282 | 3.30          |

Bu çalışmanın sonuçları ve literatürdeki diğer çalışmalar İkinci mertebe kinetiğine uygulanmış ve deney verileri ile model doğrusu arasında % 99.8'lik bir korelasyon hesaplanmıştır (Şekil 7.23). Şekil 7.24'de ise modelden elde edilen denklem kullanılarak  $S_o = 230$  ve  $445$  mg/l için belirlenen model sınırları ve bu sınırlar içine düşen deney sonuçları görülmektedir. Kararlı hallere ait ortalama  $S_o$  değerleri model denklemine yerleştirilip çıkış KOİ değerleri ( $S_1$ ) hesaplanmış ve bu değerler ile çalışmadan elde edilen değerler arasında % 92.8'lik bir korelasyon olduğu saptanmıştır (Tablo 7.9).

Literatürde verilen değerlerin modele uygulanması sonucu elde edilen değerlerin genelde bir doğru üzerine düştüğü görülmektedir (Şekil 7.25).

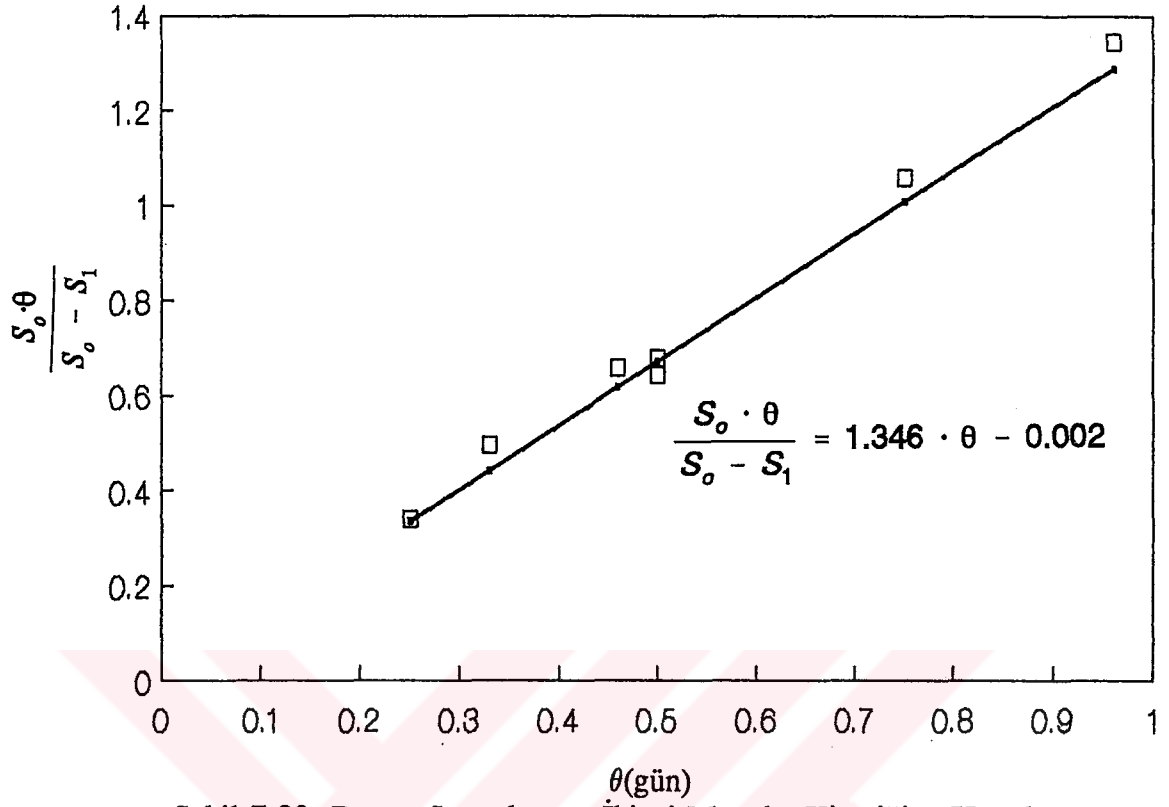
$$S_{model} = S_o \cdot \left(1 - \frac{\theta}{1.346\theta - 0.002}\right) \quad (7.2)$$

Tablo 7.9. Ortalama  $S_1$  Değerleri İle Modelden Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

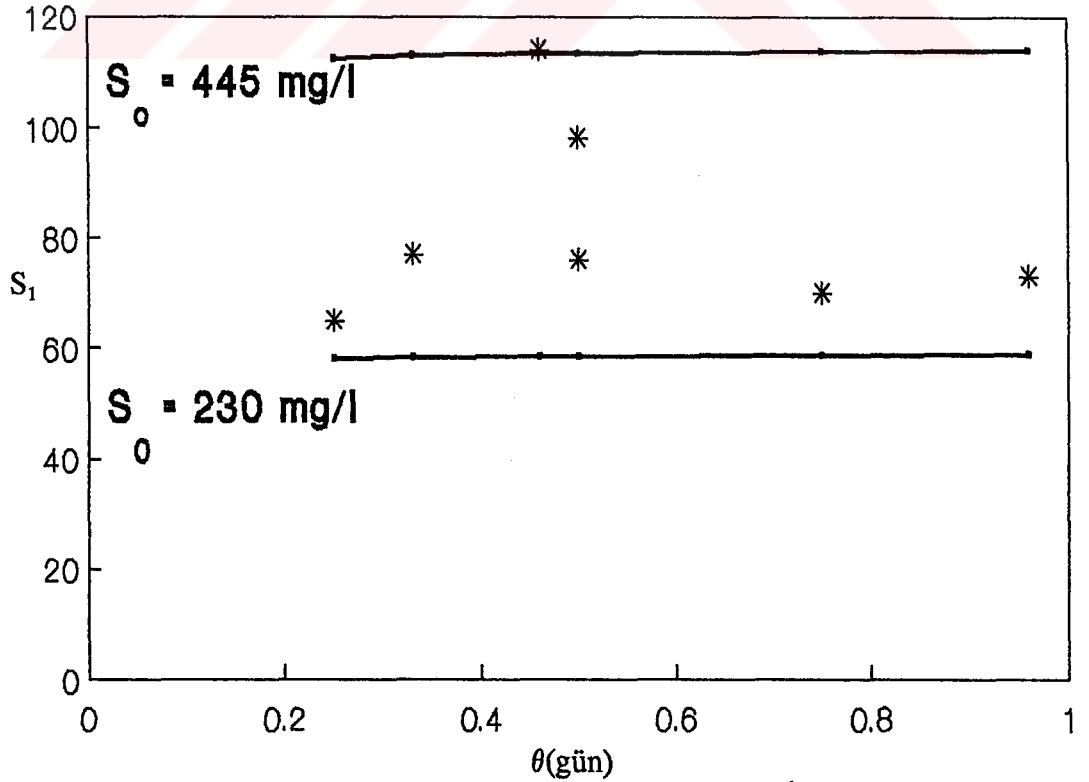
| $S_o$ | $S_1$ | $S_{model}$<br>$r = 0.928$ |
|-------|-------|----------------------------|
| 445   | 98    | 112                        |
| 255   | 73    | 65                         |
| 378   | 114   | 96                         |
| 240   | 70    | 61                         |
| 230   | 77    | 60                         |
| 244   | 65    | 62                         |
| 290   | 76    | 74                         |

Şekil 7.26'da ise mevcut çalışmaların ikinci mertebe kinetiğine uygulanması sonucu elde edilen doğrular görülmektedir. Biyolojik olarak güç ayrışan atıksulara ait model doğruları, ayrışma derecelerine göre yukarıya doğru ötelenmektedir. Yani atıksu kolay ayrışmayan bileşenler içeriyorsa modeldeki "a" ve "b" değeri büyümektedir.

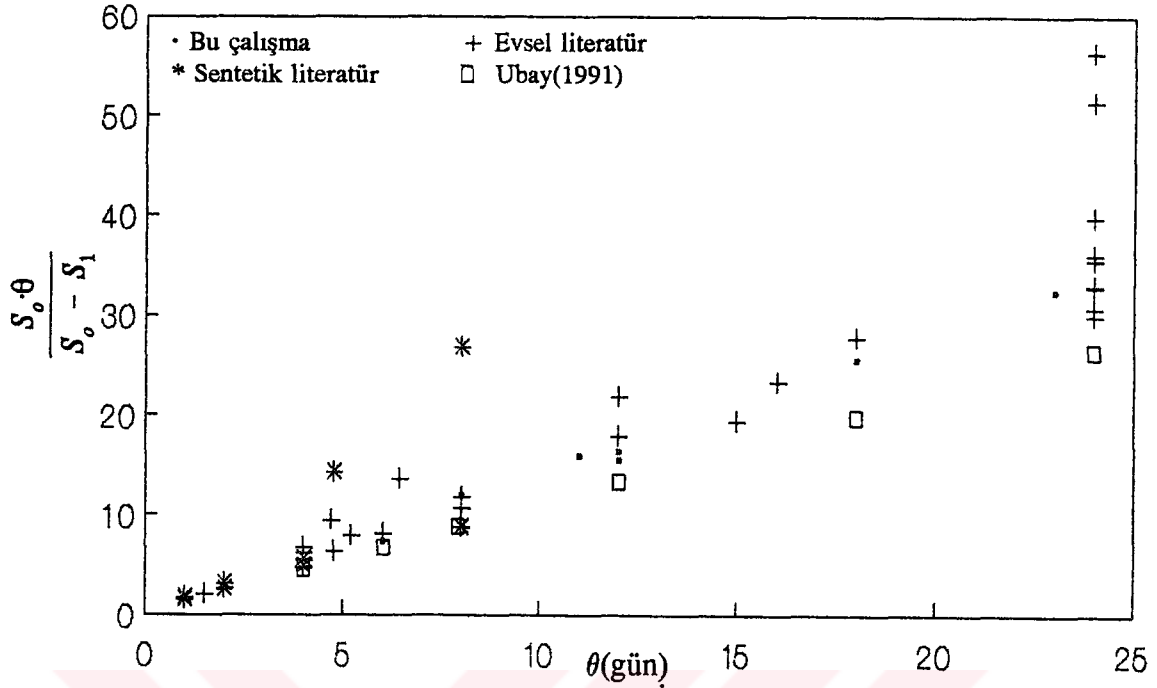
Grau ve arkadaşları tarafından önerilen  $a + b\theta$  ifadesindeki "a" değeri  $\alpha + \beta(S_o/X)$  şeklinde bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Deneysel çalışma verileri kullanılarak "a" ifadesi %78.5'lik bir korelasyonla  $-6.282(S_o/X) + 0.433$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 9.27). İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü tarafından gerçekleştirilen diğer çalışmalar için "a" ifadesinin aldığı değerler Tablo 7.10'da verilmiştir.



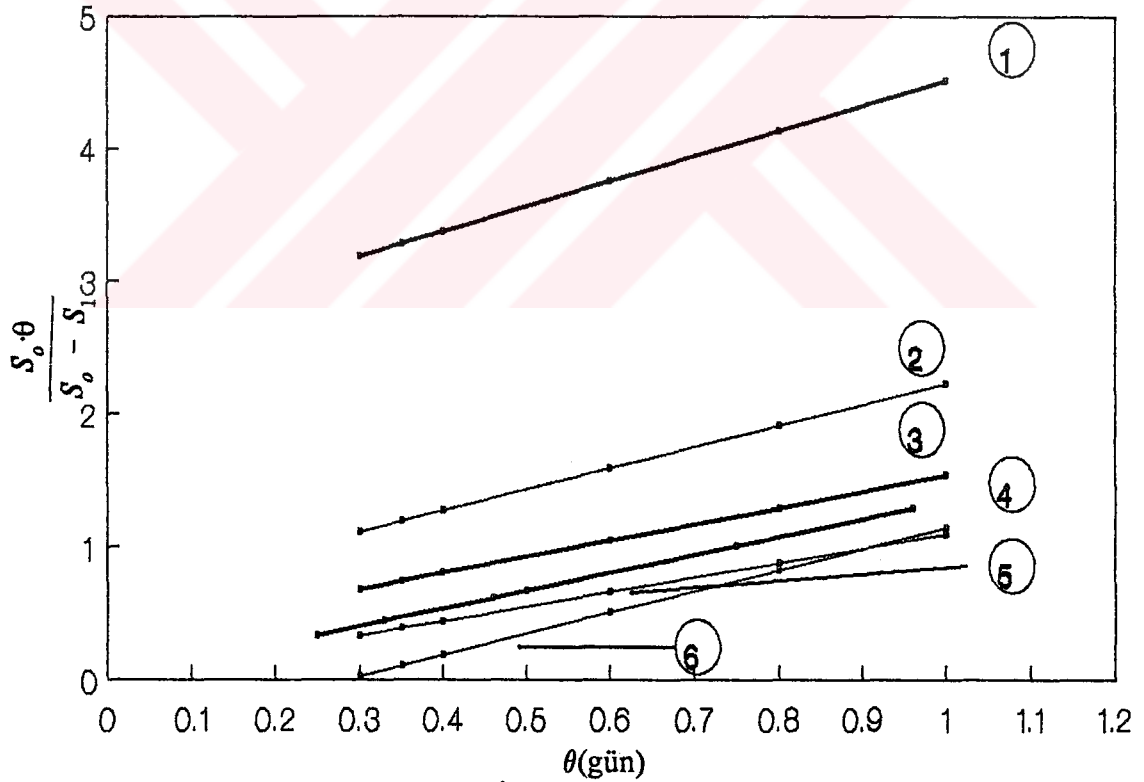
Şekil 7.23. Deney Sonuçlarının İkinci Mertebe Kinetiğine Uygulanması



Şekil 7.24. Elde Edilen Değerlerin Model Doğrusu İle Karşılaştırılması



Şekil 7.25. Literatürde Verilen Çalışmaların İkinci Mertebe Kinetiğine Uygulanması



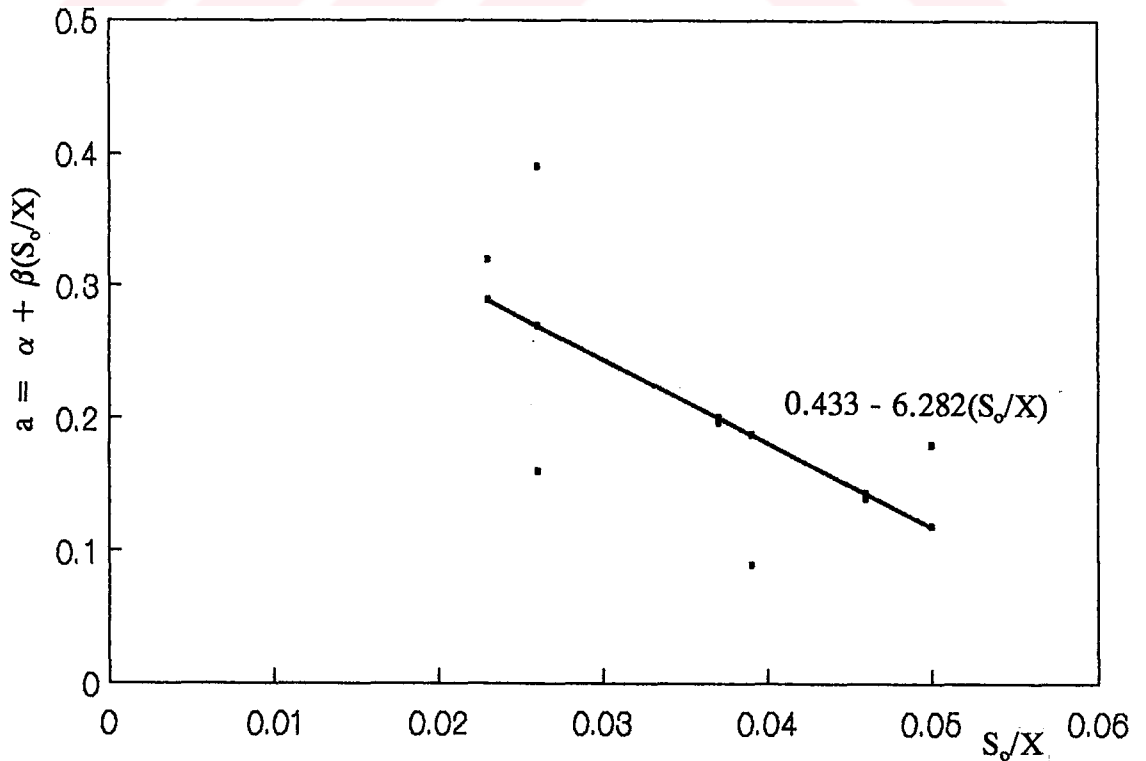
Şekil 7.26. Literatür Verilerinin İkinci Mertebe Kinetiğine Uygulanmasından Elde Edilen Regresyon Doğruları

| $a + b \theta$         | Korelasyon Katsayısı(r) | Açıklama                   | Doğru No |
|------------------------|-------------------------|----------------------------|----------|
| $1.894 \theta + 2.62$  | 0.958                   | Eysel + Endüstriyel Atıksu | [1]      |
| $1.592 \theta + 0.636$ | 0.94                    | Sentetik + Eysel           | [2]      |
| $1.226 \theta + 0.314$ | 0.998                   | Sentetik Literatür         | [3]      |
| $1.346 \theta - 0.002$ | 0.998                   | Bu çalışma                 | [4]      |
| $1.099 \theta$         | 1                       | Sentetik Atıksu [94]       | [5]      |
| $1.605 \theta - 0.458$ | 0.947                   | Eysel Literatür            | [6]      |

Tablo 7.10.  $a = \alpha + \beta(S_o/X)$  İfadesinin Çeşitli Atıksular İçin Aldığı Değerler

| $a = \alpha + \beta(S_o/X)$ | $r$   | KAYNAK     |
|-----------------------------|-------|------------|
| $0.433 - 6.282(S_o/X)$      | 0.785 | Bu çalışma |
| $0.105 - 1.286(S_o/X)$      | 0.985 | [94]       |
| $-0.023 + 0.211(S_o/X)$     | 0.951 | [28]       |
| $-0.017 + 0.428(S_o/X)$     | 1     | [28]       |
| $-0.039 + 0.205(S_o/X)$     | 0.970 | [13]       |
| $0.053 - 0.027(S_o/X)$      | 0.865 | [13]       |
| $0.084 + 0.631(S_o/X)$      | 0.920 | [104]      |
| $0.785 - 0.368(S_o/X)$      | 0.575 | [104]      |

Deneysel sonuçlar ile hesaplanan "a" ifadesi arasında genelde yüksek bir korelasyon olmakla birlikte zeytinyağı imalatı atıksuyu ile yapılan deneyler ve bu çalışmadan elde edilen korelasyon sayıları oldukça düşüktür. Atıksuyun özelliklerine göre " $\alpha$ " ve " $\beta$ " nin değişimi hakkında genel bir yorum yapılamamakla birlikte atıksuyun KOİ'si arttığında elde edilen noktalar sağa kaymakta aynı zamanda zor ayrışan atıksular için "a" nın aldığı değerler de artmaktadır.

Şekil 7.27. "a" nın  $S_o/X$ 'in Fonksiyonu Halinde İfadesi

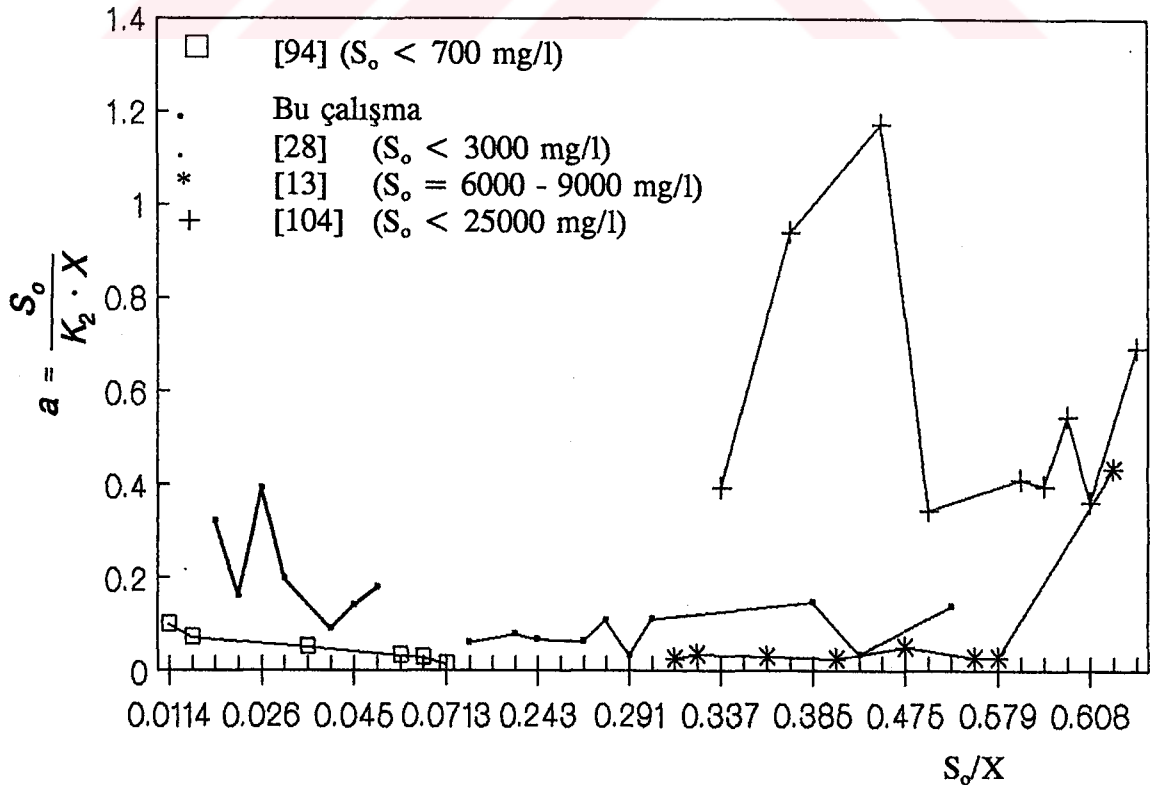
### 7.3.2. Deney Sonuçlarının $E = K\theta^a$ İfadesine Uygulanması

Havasız filtreler için Young(1991) tarafından önerilen  $E = K\theta^a$  ifadesi deneysel çalışma verilerine uygulanmış ve sonuçlar Tablo 7.11'de verilmiştir. HF'ler için Young tarafından verilen değerler ise Tablo 7.12'de görülmektedir.

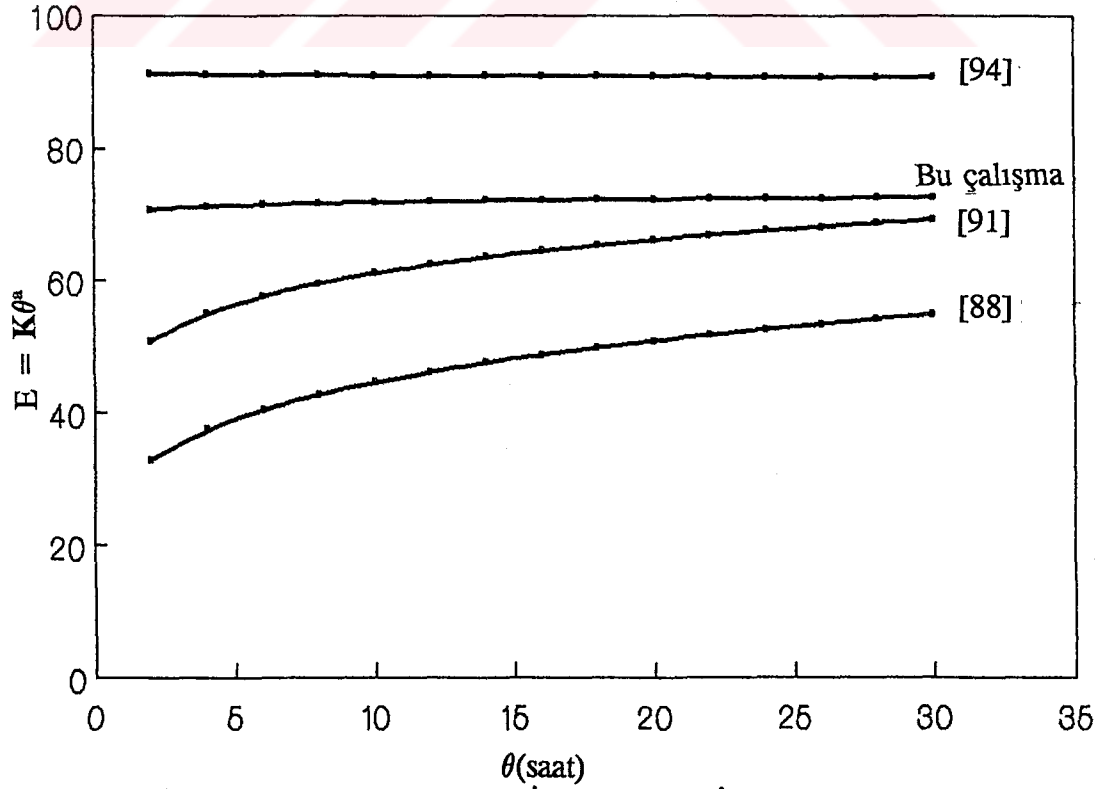
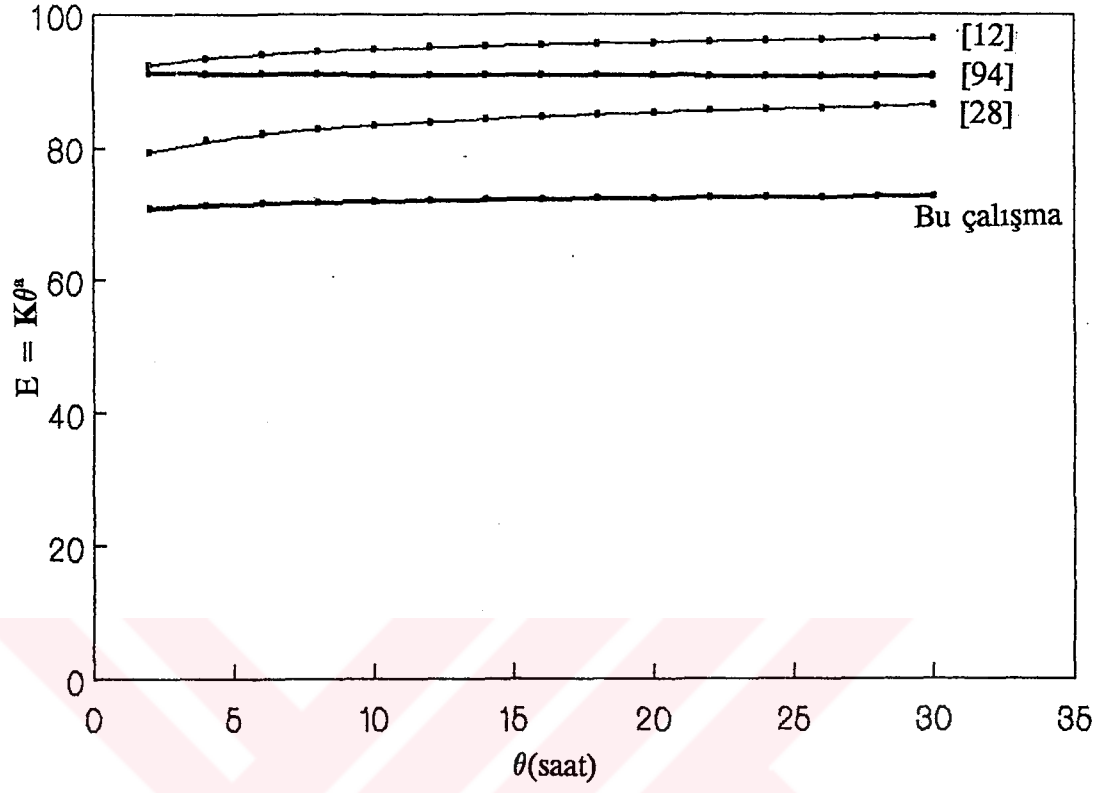
Tablo 7.11.  $E = K\theta^a$  İfadesinin Aldığı Değerler

| K      | a      | r     | E <sub>ort</sub> | KAYNAK     |
|--------|--------|-------|------------------|------------|
| 91.383 | -0.002 | 0.99  | 91               | [94]       |
| 28.983 | 0.188  | 0.943 | 48               | [88]       |
| 47.040 | 0.114  | 0.987 | 60               | [91]       |
| 70.231 | 0.010  | 0.992 | 70               | Bu çalışma |

Kolay ayrışan atıksularda "K" yüksek değerler alırken "a" oldukça düşük olmakta, evsel atıksu eğer güç ayrışan bileşenler içeriyorsa "K" değeri azalmaktadır (Şekil 7.29 - 7.30). Kolay ayrışan atıksu ya da evsel atıksu eğer  $\theta < 2-3$  saat gibi düşük bekletme sürelerinde arıtıma tabi tutuluyorsa  $\theta$  'ya bağlı olarak KOİ giderim veriminde belirgin bir değişim gözlenmemektedir. Evsel ve endüstriyel atıksuların birlikte arıtımı söz konusu ise  $\theta$ 'nın artışına bağlı olarak verimde belirgin bir artış görülmektedir.



Şekil 7.28. Çeşitli Çalışmalar İçin "a" nın Aldığı Değerler



Şekil 7.29. Çeşitli Çalışmalar İçin  $E = K\theta^a$  İfadesinin Değişimi

Tablo 7.12. Havasız Filtrelerde Çok Değişkenli Lineer Korelasyon Metodu İle Elde Edilen Sonuçlar [103]

| Kaynak                                  | K     | a      | r      |
|-----------------------------------------|-------|--------|--------|
| Young (1968)<br>$E = K(\theta)^a$       | 57.47 | 0.162  | 0.8758 |
| Dahan (1982)<br>$E = K(\theta)^a$       | 20.70 | 0.349  | 0.9454 |
| Dahab 1982)<br>$E = K(\theta)^a$        | 25.57 | 0.266  | 0.8636 |
| Donovan (1982)<br>$E = K(\theta)^a$     | 51.98 | 0.0813 | 0.5222 |
| Jennett (1975)<br>$E = K(\theta)^a$     | 81.96 | 0.017  | 0.4669 |
| Wilkie (1984)<br>$E = K(\theta)^a$      | 19.04 | 0.265  | 0.9013 |
| Van den Berg(1980)<br>$E = K(\theta)^a$ | 4.33  | 0.283  | 0.9341 |
| $E = K(\theta)^a$                       | 38.28 | 0.192  | 0.5587 |
| Song (1985)<br>$E = K(\theta)^a$        | 51.07 | 0.142  | 0.3751 |
| Dahab(1982)<br>$E = K(\theta)^a$        | 48.77 | 0.182  | 0.7619 |
| Dahab(1982)<br>$E = K(\theta)^a$        | 31.24 | 0.257  | 0.8891 |

#### 7.4. İLAVE ARITMA İLE AZOT VE FOSFOR GİDERİMİ

Havasız çamur yataklı reaktörde arıttan geçen evsel atıksu azot, fosfor ve koliform açısından alıcı ortama verilecek değerlerin çok üzerinde olduğundan reaktör çıkışındaki suya ileri arıtma yöntemlerinin uygulanması gerekli görülmüştür. Yapılan çalışma süresinde havasız reaktör çıkış suyunda TKN,  $\text{NH}_3$  ve TP sırasıyla 10-53 mg/l, 9-48mg/l ve 1.6-3.4 mg/l aralığında değişmiştir. Ekstrem bir durum olarak  $\text{TKN} = 220 \text{ mg/l}$ ,  $\text{NH}_3 = 115 \text{ mg/l}$  ve  $\text{TP} = 3.1 \text{ mg/l}$  değerine ulaşmıştır. Bu yüksek konsantrasyonlar, reaktörün özelliklerinde ani değişme sonrası bozulma nedenini araştırmak için yapılan deneyler sırasında tesbit edilmiştir. Bu durumda reaktöre beslenen atıksuyun  $\text{TKN}$  'si 125 mg/l,  $\text{NH}_3$  'ü 66 mg/l ve  $\text{TP}$  'u 3.4 mg/l iken reaktör çıkışında bu değerler yukarda verilen değerlere yükselmiştir. pH'nın 8.60 gibi yüksek bir değer almasıyla birlikte reaktörde ani bir  $\text{TKN}$  ve  $\text{NH}_3$  artışı gözlenmiştir. Çalışma boyunca yapılan diğer  $\text{TKN}$  ve  $\text{NH}_3$  deneylerinde böyle bir konsantrasyon artışı gözlenmemiştir. Bu da havasız reaktörlerde pH kontrolünün ne kadar önemli olduğunun bir göstergesidir. Reaktöre pH'sı yüksek giriş suyu ile besleme yapıldığında reaktör bünyesinde ani olarak artan pH ortama bazik nitelik kazandırmakta ve sistemde istenmeyen durumlara yol açmaktadır. Artan  $\text{NH}_3$  konsantrasyonu sistemde bulunan mikroorganizma grupları üzerinde inhibisyon etkisi yaparak biyolojik aktivitesini düşürmektedir.

Biyolojik arıtma sistemleri organik kirleticilerin giderilmesinde etkili olmasına rağmen, nitrifikasyon-denitrifikasyon sistemi hariç nütriyent gideriminde etkili değildir. Oysa nütriyent giderimi alıcı ortamlar için son derece önemlidir. Zira su yaşamı için gerekli olan nütriyentlerin fazla olduğu hallerde ortamda istenmeyen koşullar oluşmaktadır. Su ortamında istenmeyen koşulların başlıcaları:

- Azot alıcı ortamdaki oksijeni tüketerek çözünmüş oksijen seviyesini düşürür, ortamı anoksik yapar.
- Azot ve fosfor temel besin maddesi oldukları için sudaki canlıların aşırı büyümelerine dolayısıyla ötrofikasyona neden olurlar.
- Azot kloraminler oluşturarak klor dezenfeksiyonunu olumsuz yönde etkiler.

Çıkış suyundaki azotunun uzaklaştırılması için yaygın olarak hava ile püskürtme yöntemi kullanılır. Bu yöntemde, yüksek pH değerlerinde amonyum iyonu serbest amonyağa dönüştürülerek sudan uzaklaştırılır ve atmosfere verilir.

Fosfor çözünemeyen kompleks bileşikler oluşturduğu için azota göre giderilmesi daha kolaydır. Fosfor kimyasal madde ilavesi ile çöktürülerek atıksudan uzaklaştırılır. Kireç kullanılması halinde, fosfor kalsiyumhidroksiapatit oluşturur ve oldukça iyi verimlerle fosfor giderimi sağlanır.

Bu çalışma kapsamında, havasız arıtma çıkışındaki azot ve fosfor miktarları alıcı ortama deşarj standartlarını aştığı için çıkış suyunun ilave arıtmaya tabi tutulması gerekmiştir. Bu amaçla çıkış suyu aşağıda verilen kimyasal arıtma ve havalandırma işlemlerinden geçirilmiştir.

- $\text{Ca(OH)}_2$  , NaOH ve  $\text{C}_2\text{S}$  ile Jar Testi
- $\text{Ca(OH)}_2$  , NaOH ile Jar Testi + 5 dakikalık havalandırma
- $\text{Ca(OH)}_2$  , NaOH ile Jar Testi + 30 dakikalık havalandırma
- $\text{Ca(OH)}_2$  , NaOH ile Jar Testi + 60 dakikalık havalandırma
- $\text{Ca(OH)}_2$  , NaOH ile Jar Testi + 120 dakikalık havalandırma

Yukarda listelenen seçeneklerde belirtilen kimyasal maddeler ile ön deneme testleri yapılarak maksimum giderimlerin ulaşıldığı optimum pH değeri ve kimyasal madde dozajları tesbit edilmiştir(Tablo 7.13, 7.14, 7.15). Optimum giderimleri veren kimyasal madde belirlendikten sonra kimyasal arıtım çıkışında toplam koliform analizleri yapılmıştır. Literatürde yapısında  $\text{C}_2\text{S}$  (çimento) bulunan "Clarifloc" adlı madde ile yapılan kimyasal arıtmada BOİ'nin ortalama %60 civarında, fosforun % 90 mertebesinde, toplam koliformun ise pH = 10 iken % 95'in üstünde giderildiği belirtilmiştir (Harrington,1897)[105]. İlk seri deneyler sonucunda,  $\text{C}_2\text{S}$  ile yapılan Jar Testinde TKN ve Amonyak azotu bazında çok düşük giderimler elde edildiği için bu yöntemde koliform giderimi belirlenmemiştir.  $\text{Ca(OH)}_2$  ve NaOH ile yapılan deneylerde elde edilen giderimler değerlendirilmiş ve bu giderimler uygun mertebede olmadığı için reaktör çıkış suyu kimyasal madde ilavesi sonrası değişken sürelerde

Tablo 7.13.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile Yapılan Deneyler

|   | Konsantrasyon | pH   | Çökelen hacim(ml/1000 ml) | TKN(mg/l) | %TKN Giderimi | $\text{NH}_3$ (mg/l) | % $\text{NH}_3$ Giderimi | P (mg/l) | % P Giderimi |
|---|---------------|------|---------------------------|-----------|---------------|----------------------|--------------------------|----------|--------------|
| 0 | -             | 7.98 | -                         | 53        | -             | 48                   | -                        | 3.4      | -            |
| 1 | 100           | 9    | 0.4                       | 45        | 15            | 35.53                | 26                       | 2        | 41           |
| 2 | 150           | 9.3  | 1                         | 45.94     | 13            | 37.45                | 22                       | 1.85     | 46           |
| 3 | 200           | 9.6  | 1.2                       | 52.80     | 0.4           | 44.62                | 2.8                      | 1.2      | 65           |
| 4 | 250           | 10.1 | 1.7                       | 52        | 1.9           | 46.29                | 3.5                      | 0.9      | 74           |
| 5 | 300           | 10.6 | 2.0                       | 30        | 43            | 27.28                | 43                       | 0.9      | 74           |
| 6 | 350           | 11.6 | 5.0                       | 48.10     | 9             | 29.26                | 39                       | 0.9      | 74           |

Tablo 7.14.  $\text{C}_2\text{S}$  ile Yapılan Deneyler

|   | Konsantrasyon | pH   | Çökelen hacim(ml/1000 ml) | TKN(mg/l) | %TKN Giderimi | $\text{NH}_3$ (mg/l) | % $\text{NH}_3$ Giderimi | P (mg/l) | % P Giderimi |
|---|---------------|------|---------------------------|-----------|---------------|----------------------|--------------------------|----------|--------------|
| 0 | -             | 7.98 | -                         | 53        | -             | 48                   | -                        | 3.4      | -            |
| 1 | 400           | 9    | 0.6                       | 49.78     | 9             | 47.80                | 0.4                      | 2.7      | 20           |
| 2 | 800           | 9.47 | 2                         | 52.40     | 1.1           | 46.84                | 2.4                      | 1.8      | 47           |
| 3 | 1600          | 10   | 6.5                       | 50.10     | 5             | 43.98                | 8.4                      | 0.9      | 74           |
| 4 | 1900          | 11.2 | 11                        | 48.78     | 8             | 41.27                | 14                       | 1.3      | 69           |

Tablo 7.15. NaOH ile Yapılan Deneyler

|   | Konsantrasyon | pH   | Çökelen hacim(ml/1000 ml) | TKN(mg/l) | %TKN Giderimi | NH <sub>3</sub> (mg/l) | % NH <sub>3</sub> Giderimi | P (mg/l) | % P Giderimi |
|---|---------------|------|---------------------------|-----------|---------------|------------------------|----------------------------|----------|--------------|
| 0 | -             | 7.98 | -                         | 53        | -             | 48                     | -                          | 3.4      | -            |
| 1 | 95            | 9.5  | - *                       | 35.74     | 33            | 34.69                  | 28                         | 3.0      | 12           |
| 2 | 145           | 10   | -                         | 34.22     | 35            | 34                     | 29                         | 2.4      | 29           |
| 3 | 200           | 10.5 | -                         | 34.21     | 35            | 34                     | 29                         | 3.4      | -            |
| 4 | 240           | 11   | -                         | 34.21     | 35            | 33.81                  | 30                         | 2.85     | 16           |

\* Kararsız bir çökelti oluşmuştur.

havalandırmaya tabi tutulmuştur (Tablo 7.16).  $\text{Ca(OH)}_2$  kimyasal arıtmaya ilaveten iki saatlik havalandırmada en iyi giderimler elde edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda,  $\text{pH} \approx 11$ 'e karşı gelen 300-350 mg/l 'lik  $\text{Ca(OH)}_2$  konsantrasyonu optimum dozaj olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda giriş atıksuyunun özellikleri  $\text{KOİ} < 30$  mg/l,  $\text{TKN} = 24.1$  mg/l,  $\text{NH}_3 = 24$  mg/l,  $\text{P} = 2.7$  mg/l ve  $\text{AKM} < 10$  mg/l iken TKN'de %65,  $\text{NH}_3$ 'te %74 ve toplam fosforda %90 oranında giderim elde edilmiştir (Tablo 7.16 (devam)).

Müftüoğlu(1991) tarafından Yenikapı arıtma tesisine gelen evsel atıksular ile yapılan kimyasal arıtma çalışmasında da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bahsedilen çalışmada optimum  $\text{Ca(OH)}_2$  dozajı  $\text{pH} = 11$  iken 350 mg/l olarak bulunmuş ve jar testi sonucu TKN'de % 42-57,  $\text{NH}_3$ 'te % 30-45 ve Toplam fosforda % 85-94, KOİ'de ise 78-80'lik giderimler elde edilmiştir.  $\text{Ca(OH)}_2$  + havalandırma ile yapılan deneylerde ise TKN'de % 32,  $\text{NH}_3$ 'te % 65, Toplam Fosfor'da % 91 ve KOİ'de % 84'lük giderimlere ulaşılmıştır [106].

Reaktöre beslenen evsel atıksuyun toplam koliform değeri  $9 \cdot 10^6$  adet koli/100 ml civarında tesbit edilmiştir. Havasız arıtma sırasında bu değer 160 000 -  $2 \cdot 10^6$  adet koli/ 100 ml civarına, kimyasal arıtma sonrası bu değerler 16 000 -500 000 adet koli/100 ml'ye düşürülebilmektedir. Reaktör çıkışındaki toplam koliform miktarı yaklaşık 330 000 adet koli/100 ml iken NaOH ile kimyasal arıtma ve 5 dk havalandırma sonrası 23 000 adet koli/100 ml'ye düşebilmekte, başka bir deyişle % 93'lük bir koliform giderimi gerçekleşmektedir. Havasız arıtma da çıkış koliform miktarı 1 100 000 adet koli/100 ml iken bu atıksu  $\text{Ca(OH)}_2$  ile kimyasal arıtmaya ilaveten 2 saat havalandırmaya tabi tutulduğunda koliform değeri 24 000 adet koli/100 ml (  $\approx$  % 98 'lik koliform giderimi) olarak tesbit edilmiştir.

Tablo 7.16. Reaktör Çıkışının Kimyasal Arıtma + Havalandırılmasından Elde Edilen Sonuçlar

|                                                                        | NH <sub>3</sub> | TKN   | P   |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------|-----|
| Havasız Reaktör Çıkışı                                                 | 35              | 35.85 | 2.9 |
| NaOH ilavesi                                                           | 23.60           | 33.28 | 0.7 |
| NaOH + 5 dk havalandırma                                               | 23.11           | 32.53 | 0.7 |
| Ca(OH) <sub>2</sub> ilavesi                                            | 21.98           | 32    | 0.7 |
| Ca(OH) <sub>2</sub> + 5 dk havalandırma<br>(hava debisi = 2300 ml/dk)  | 20.80           | 21.45 | 0.7 |
| Ca(OH) <sub>2</sub> + 5 dk havalandırma<br>(hava debisi = 800 ml/dk)   | 23.11           | 25    | -   |
| (Hava debisi = 2400 ml/ dk)<br>NaOH + 30 dk havalandırma               | 17.10           | -     | 0.3 |
| NaOH + 60 dk havalandırma                                              | 15.01           | -     | 0.3 |
| (Hava Debisi = 2400 ml/dk)<br>Ca(OH) <sub>2</sub> + 30 dk havalandırma | 17.10           | -     | 0.3 |
| Ca(OH) <sub>2</sub> + 60 dk havalandırma                               | 14.87           | -     | 0.3 |
| Ca(OH) <sub>2</sub> + 120 dk havalandırma                              | 9.24            | -     | 0.3 |

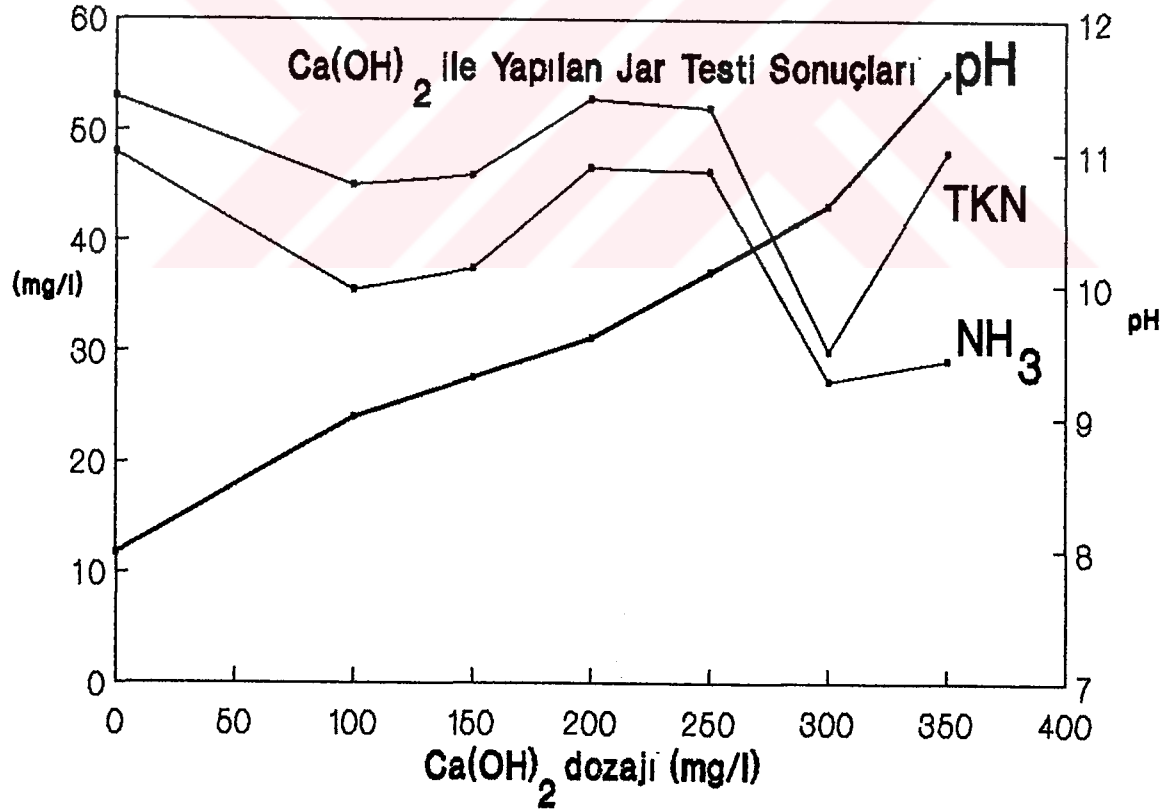
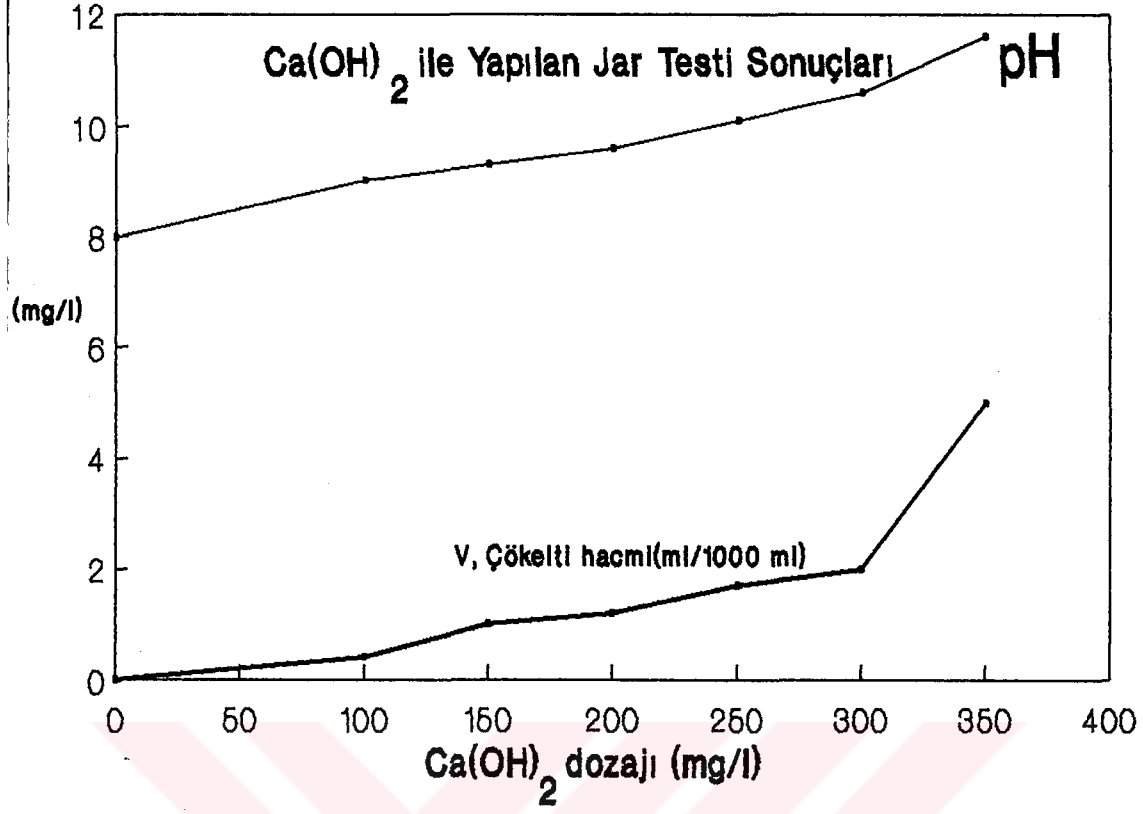
Tablo 7.16.(devam)

| Havasız Reaktör Çıkışındaki Değer |                 |     | Ca(OH) <sub>2</sub> + 120 dk havalandırma Sonrası |                 |     |
|-----------------------------------|-----------------|-----|---------------------------------------------------|-----------------|-----|
| TKN                               | NH <sub>3</sub> | P   | TKN                                               | NH <sub>3</sub> | P   |
| 24.10                             | 24              | 2.7 | 8.4                                               | 6.2             | 0.3 |
| -                                 | 9               | 1.6 | 4.15                                              | 2.97            | 0.3 |
| 34                                | 33.7            | 2.3 | 17                                                | 16              | 0.4 |
| -                                 | 53              | -   | -                                                 | 30              | -   |

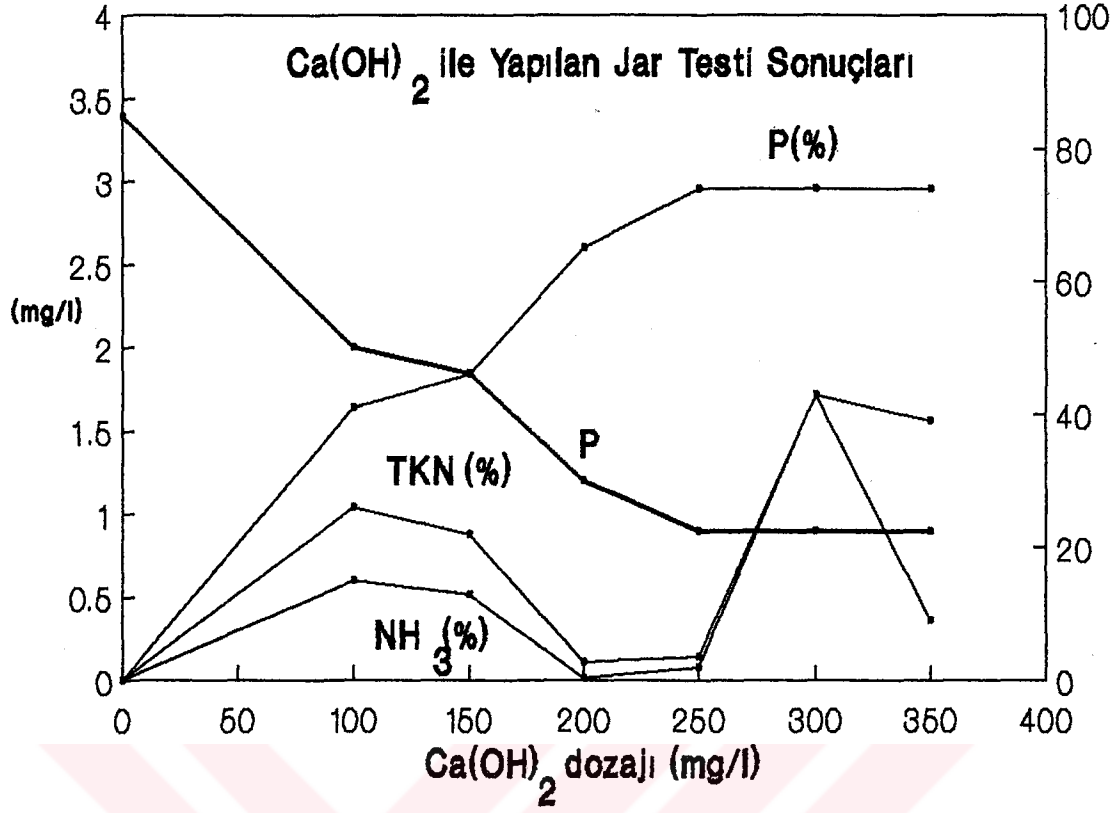
Yapılan diğ er bir seri deneyde ise reaktör cıkışındaki koliform miktarı 1 100 000 adet koli/100 ml olması halinde bu atıksu  $\text{Ca(OH)}_2$  + 2 saat havalandırmaya tabi tutulduğunda koliform değeri 230 000 adet koli/100 ml (  $\approx$  % 79 'lik koliform giderimi), reaktör cıkışındaki koli miktarı  $2 \cdot 10^6$  adet koli/100 ml olması durumunda ise 500 000 adet koli/100 ml (  $\approx$  % 75 'lik koliform giderimi)olarak tesbit edilmiştir.

Duarte vd. tarafından mezofilik havasız bir sistemde yapılan çalışmada bekleme süresi,  $\theta = 15$  gün iken reaktör girişindeki toplam koliform =  $1.2 \cdot 10^9$  adet koli/100 ml, cıkıştaki koliform miktarı 110 000 adet koli/100 ml ( % 99.99 ),  $\theta = 10$  gün, toplam koliform=  $2.4 \cdot 10^{10}$  adet koli/100 ml cıkıştaki koliform 240 000 adet koli/100 ml ( % 99.99),  $\theta = 7.5$  gün, toplam koliform=  $3.5 \cdot 10^7$  adet koli/100 ml cıkıştaki koliform 79 000 adet koli/100 ml ( % 99.77 ),  $\theta = 5$  gün, toplam koliform=  $9.2 \cdot 10^7$  adet koli/100 ml cıkıştaki koliform 700 000 adet koli/100 ml ( % 99.23) belirtilmiştir [107].

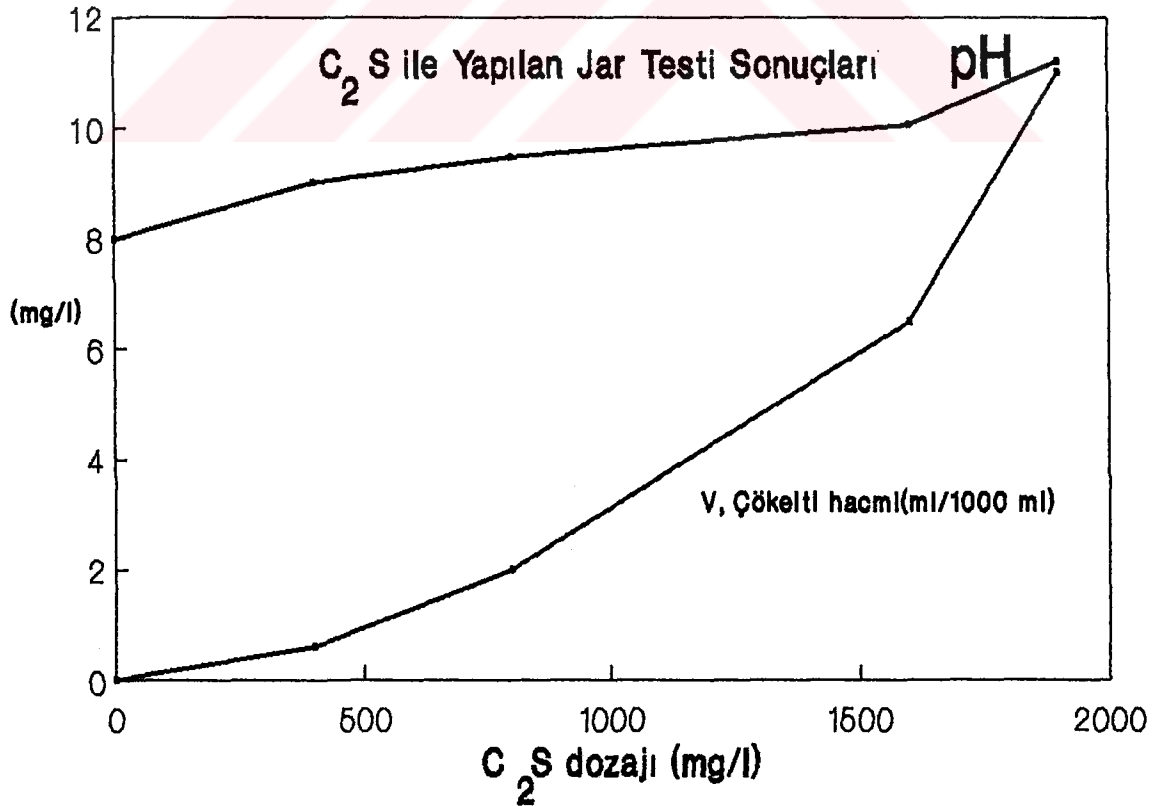
Bu  alışma kapsamında reaktör bünyesinde koliform giderimi % 80-94, havasız reaktör cıkışındaki atıksu kimyasal arıtma + havalandırmaya tabi tutulduğunda ise ilave % 75 - 98 civarında koliform giderimi elde edilmektedir. Kimyasal arıtma sonrası elde edilen koliform konsantrasyonu yine oldukça yüksek değ rlere sahiptir. Bundan dolayı bir alternatif olarak, bundan sonraki çalışmalarda kimyasal arıtma sonrası çıkış suyunun ultraviyole işınlarına tabi tutularak veya klor vb. bir maddeyle dezenfeksiyonu  onerilebilir.

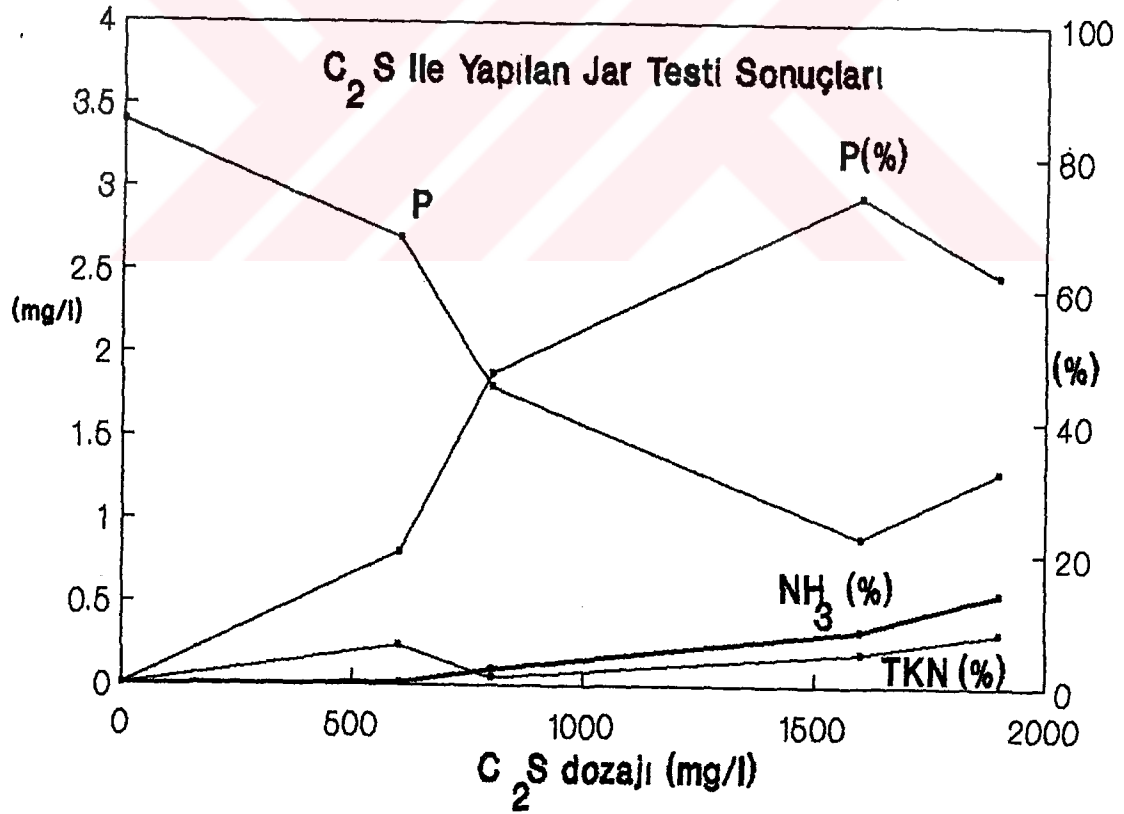
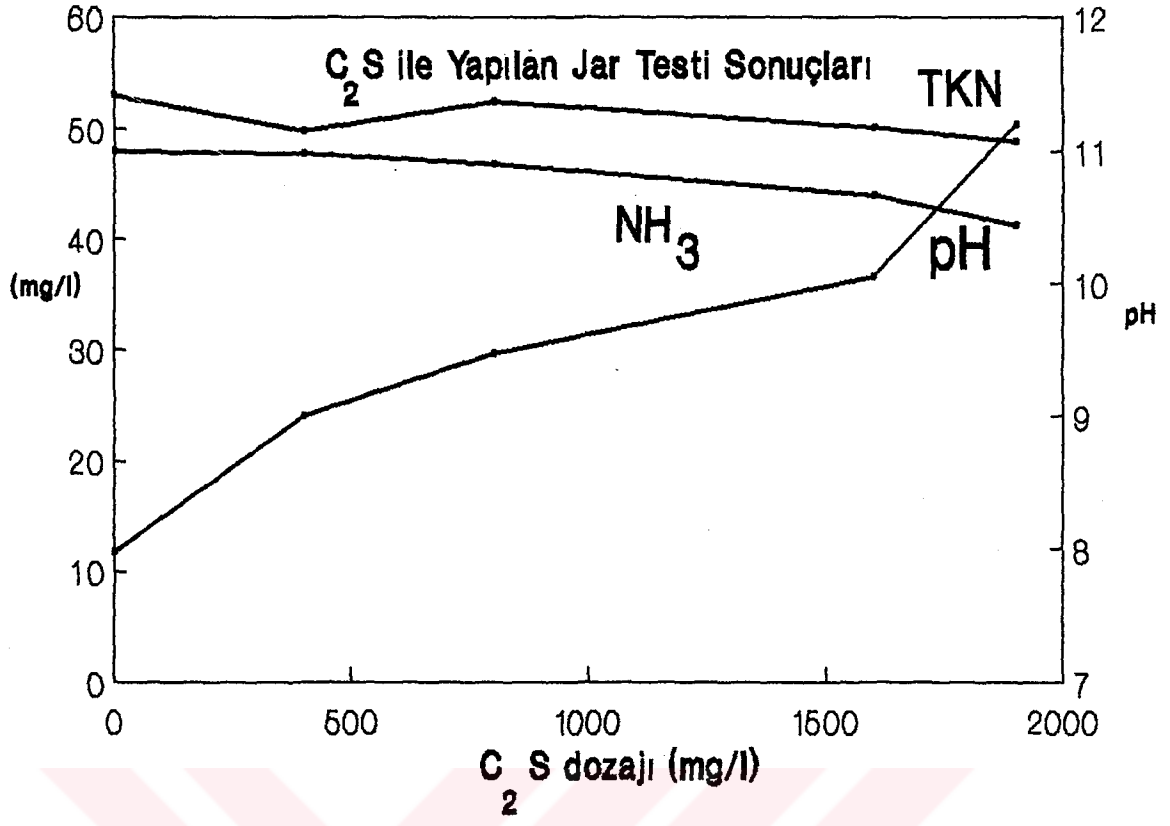


Şekil 7.30. Ca(OH)<sub>2</sub> ile Yapılan Kimyasal Arıtmadan Elde Edilen Sonuçlar

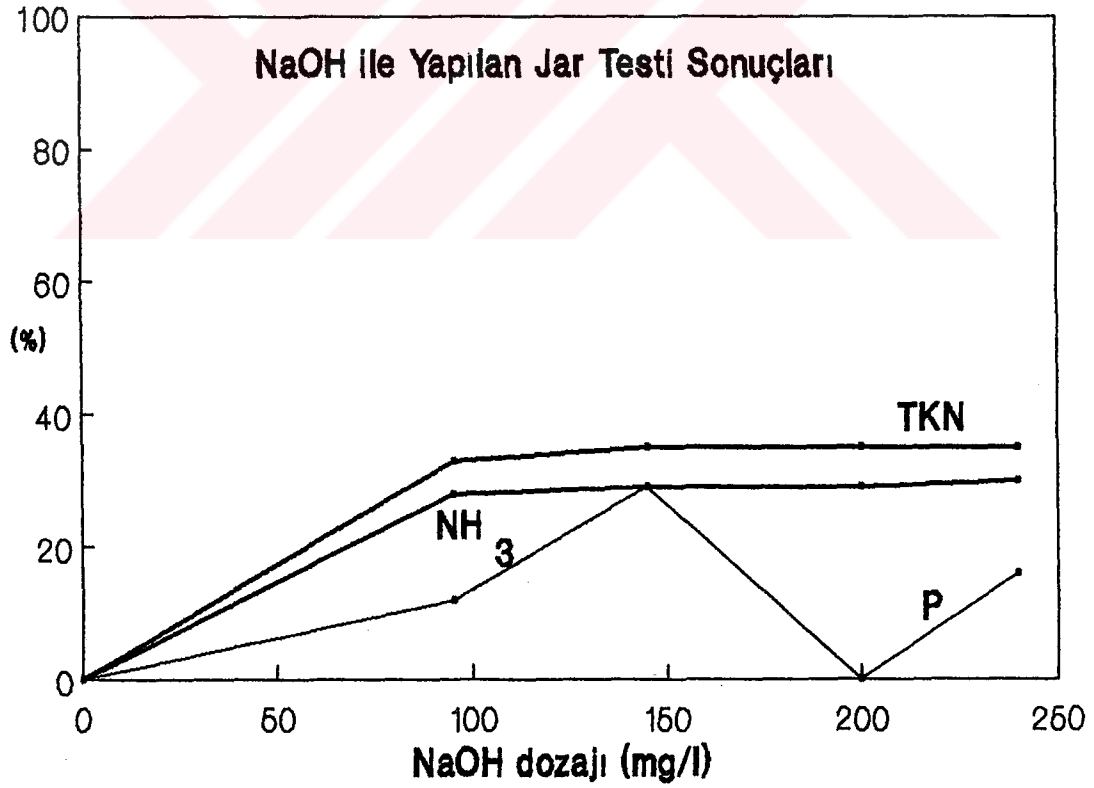
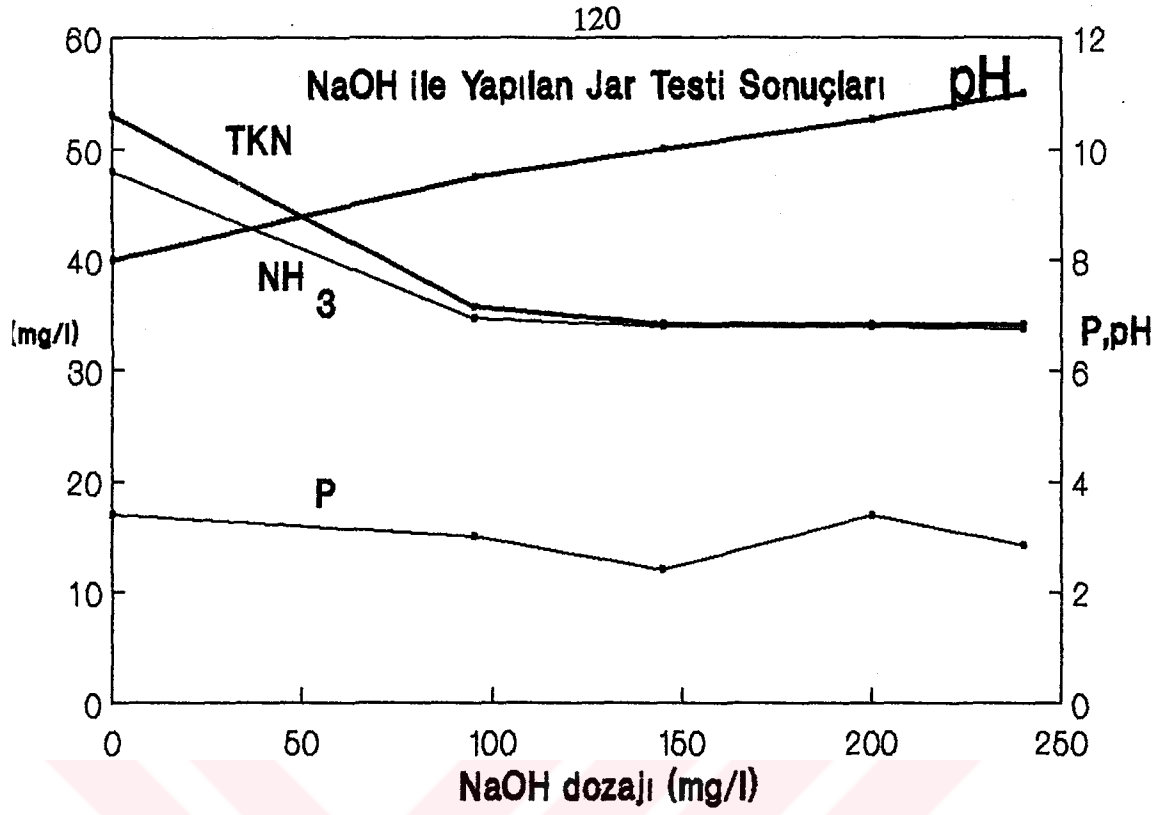


Şekil 7.30.(devam)

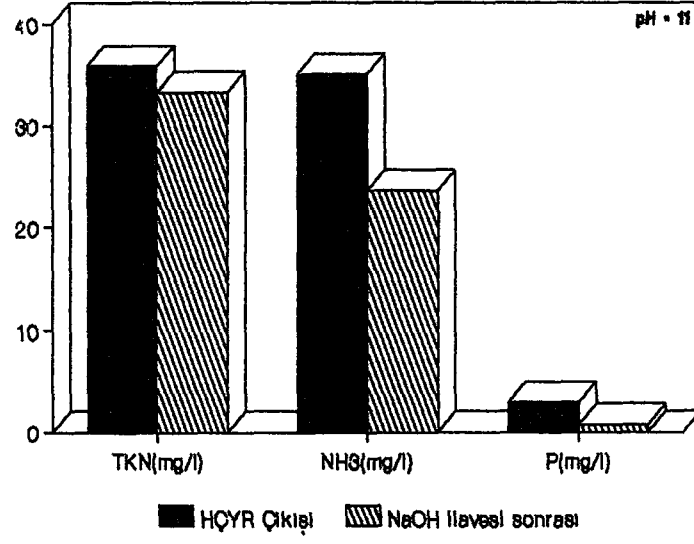
Şekil 7.31. C<sub>2</sub>S ile Yapılan Kimyasal Arıtmadan Elde Edilen Sonuçlar



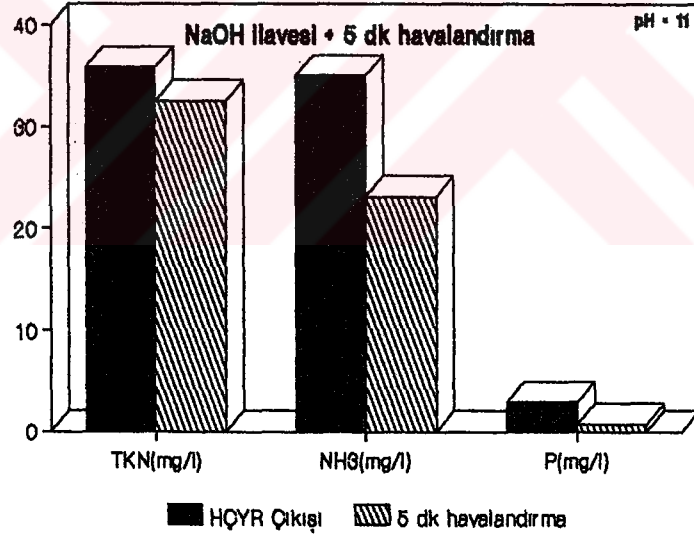
Şekil 7.31.(devam)



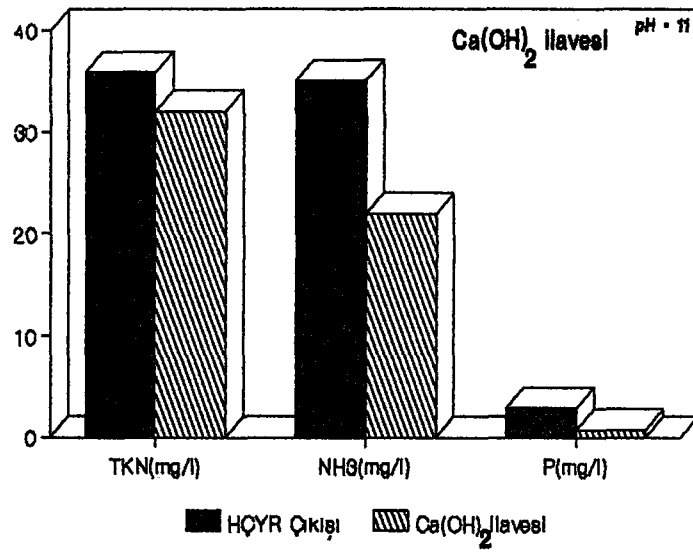
Şekil 7.32. NaOH İle Yapılan Kimyasal Arıtmadan Elde Edilen Sonuçlar



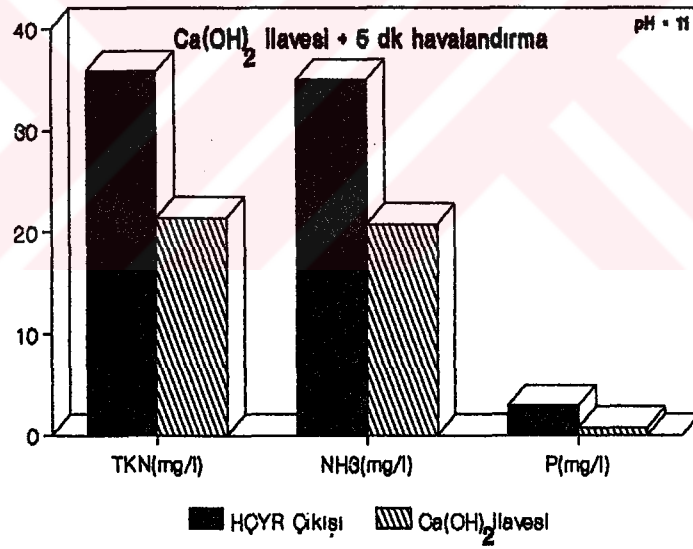
Şekil 7.33.a. NaOH İlavesi İle TKN, NH<sub>3</sub> ve P Giderimi



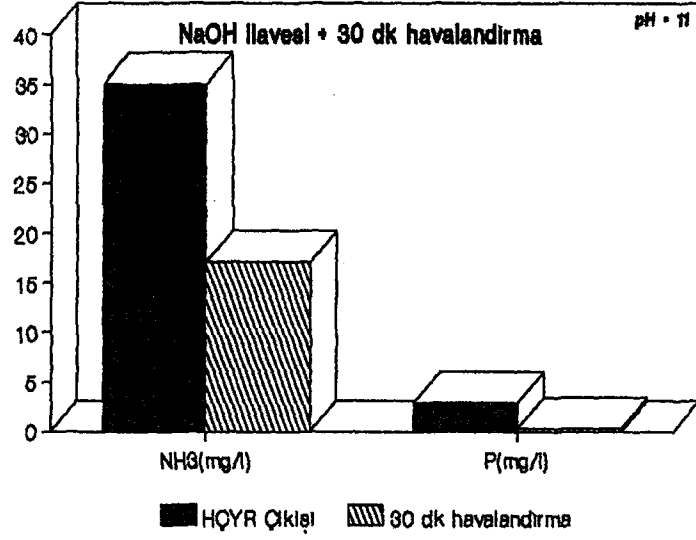
Şekil 7.33.b. NaOH İlavesi ve 5 dk. Havalandırma Sonucu TKN, NH<sub>3</sub> ve P Giderimi



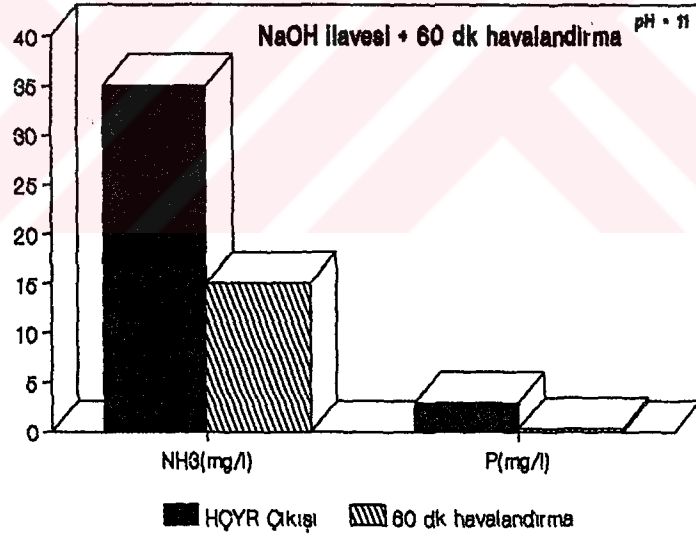
Şekil 7.34.a. Ca(OH)<sub>2</sub> ile TKN, NH<sub>3</sub> ve P Giderimi



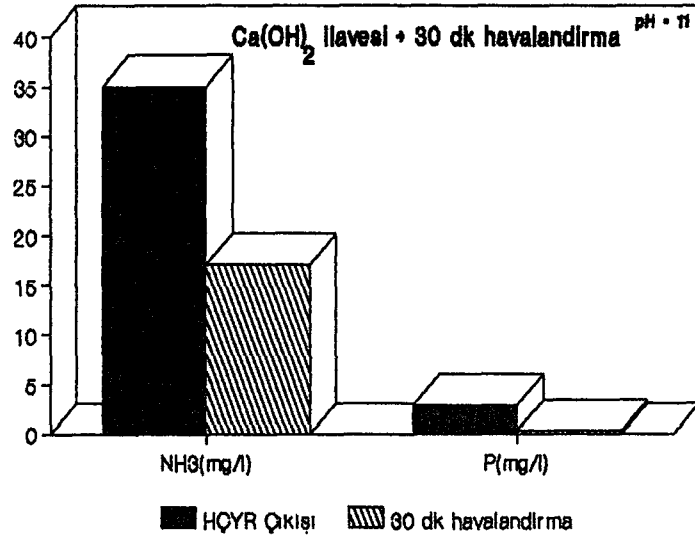
Şekil 7.34.b. Ca(OH)<sub>2</sub> ve 5 dk. Havalandırma Sonucu TKN, NH<sub>3</sub> ve P Giderimi



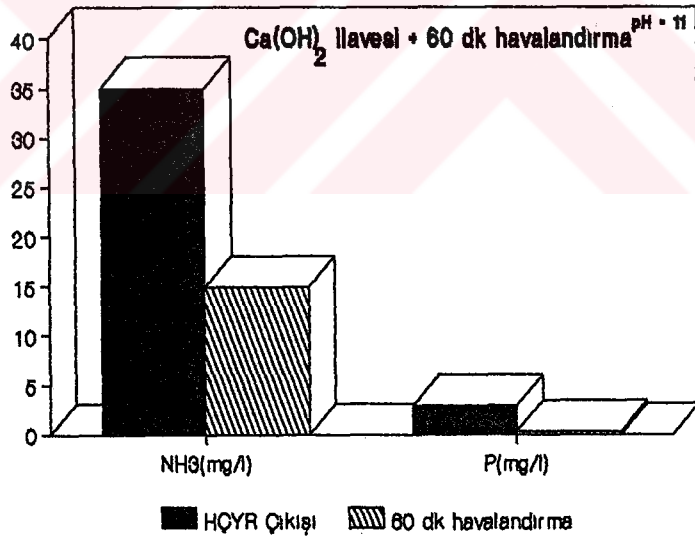
Şekil 7.35.a. NaOH İlavesi ve 30 dk. Havalandırma Sonucu NH<sub>3</sub> ve P Giderimi



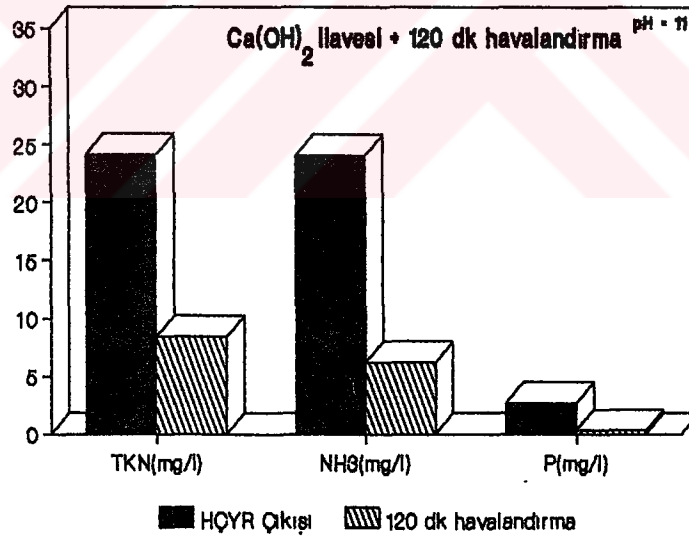
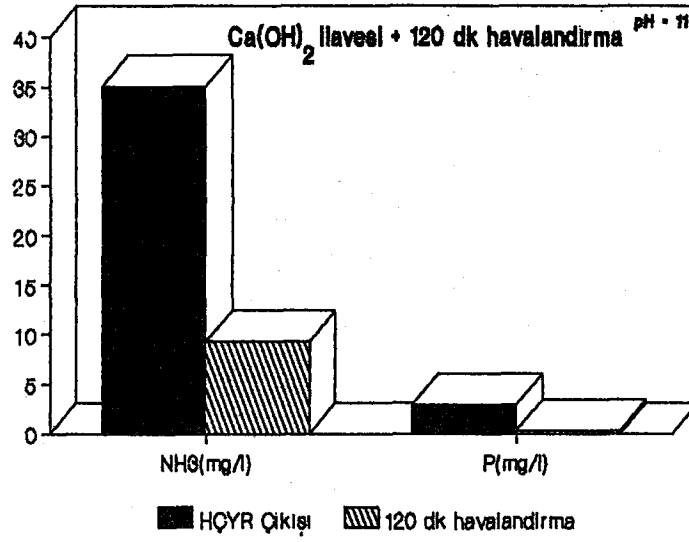
Şekil 7.35.b. NaOH İlavesi ve 60 dk. Havalandırma Sonucu NH<sub>3</sub> ve P Giderimi



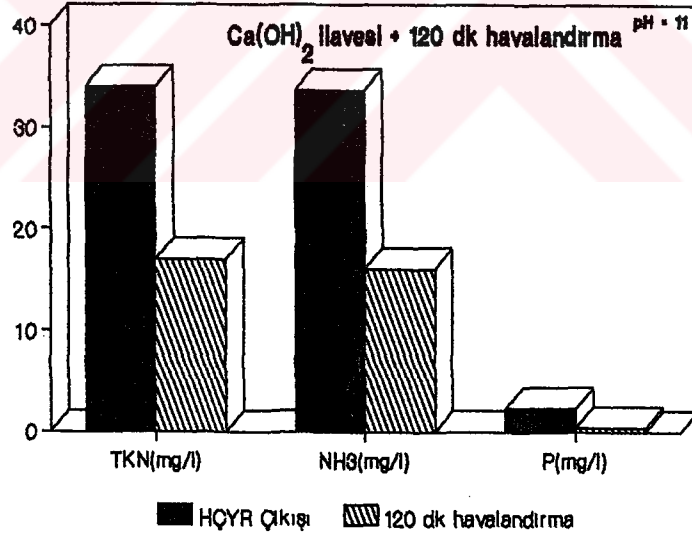
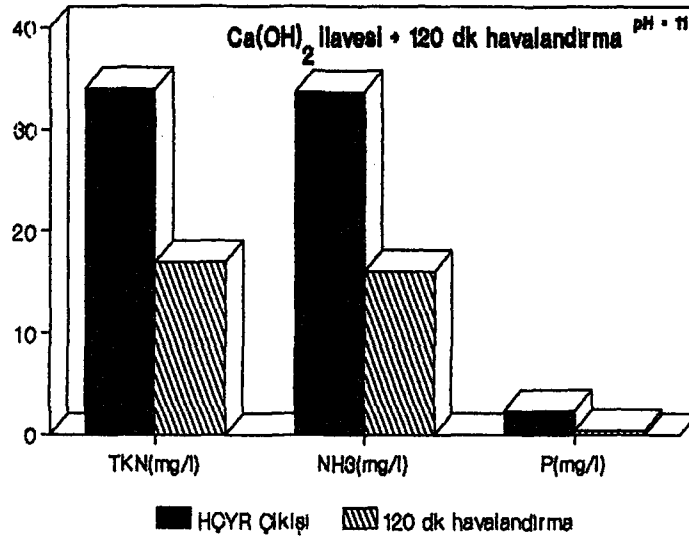
Şekil 7.36.a. Ca(OH)<sub>2</sub> ve 30 dk. Havalandırma Sonucu NH<sub>3</sub> ve P Giderimi



Şekil 7.36.b. Ca(OH)<sub>2</sub> ve 60 dk. Havalandırma Sonucu NH<sub>3</sub> ve P Giderimi



Şekil 7.37. Ca(OH)<sub>2</sub> ve 120 dk. Havalandırma Sonucu TKN, NH<sub>3</sub> ve P Giderimi



Şekil 7.37.(devam)

## BÖLÜM 8. SONUÇLAR

### 8.1. İZLEYİCİ MADDE DENEYLERİ

İz maddesi deneylerinden elde edilen sonuçlar genelleştirilmiş Gama modeline uygulanmış ve söz konusu modelin parametreleri  $\beta = 0.9$ ,  $\tau = 0.1$  ve  $p = 2$  olarak tesbit edilmiştir. Hidrolik bekleme süresinin artışına bağlı olarak ölü bölgeler artmakta ve sistem; tam karışımli bir reaktör özelliği göstermektedir. Hidrolik bekleme süresinin azalması ile sistem; tam karışımli seri bağıli iki reaktör haline dönüşmektedir. Debinin az olması durumunda sistemde yatay düzlemde daha iyi karışım oluştuğı ve dolayısıyla akımın tam karışımaya yaklaştığı, debinin yüksek olması durumunda ise reaktöre giren atıksuyun hızla yükselip ilkin çamur yatağında sonra çamur örtüsünde dağılarak iki ayrı karışım bölgesi oluşturmaktadır. Eysel atıksuların havasız çamur yataklı sistemlerde arıtılması durumunda genelde yüksek hidrolik yükler uygulanacağından bu tip reaktörlerin; genelleştirilmiş gama dağılımı modelinin verdiği sonuçlara göre çamur yatağı ve çamur örtüsünün oluşturduğu iki tam karışımli reaktör ve çamur örtüsünün üzerinde kalan çökeltme bölmesinden hemen önceki piston akım özelliğine sahip üçüncü bir hacimden meydana geldiği söylenebilir.

### 8.2. ORGANİK YÜK VE KOİ

Çalışmada organik yük  $0.2 - 1 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$  aralığında değişmiş ve 7 kararlı hal gerçekleşmiştir. Atıksuyun giriş özellikleri büyük bir salınım gösterdiğinden hidrolik bekleme süresi ile organik yük arasında belirgin bir ilişki olmamakla birlikte  $\theta$

arttıkça hacimsel organik yük ( $L_0$ ) ile azalma eğilimindedir. Giriş KOİ'sinin artışına bağlı olarak çıkış KOİ'sinde de bir miktar artış olmaktadır. Kararlı hallerde KOİ giderimleri % 67 ile % 78 arasında gerçekleşmiştir. Sistem kararlı hale ulaştığında çıkış KOİ değeri genelde 50 mg/l civarında ölçülmüştür. Giriş KOİ'sinin miktarına bağlı olarak çıkış KOİ'sinde artış olmakta ve verimde azalma meydana gelmektedir.

Sistem çıkışındaki askıda katı madde genelde 20 mg/l civarında olup çıkış KOİ'sine bağlı olarak 50 mg/l'ye kadar yükselebilmektedir. Kararlı hallere ait ortalama biyokitle miktarının organik yük ile belirgin bir ilişkisi gözlenmemiştir. KOİ giderim hızı,  $R_L$ , organik yükün artışı ile artma eğiliminde olup ortalama değeri % 70 olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın I.devresinde giriş KOİ'si 300-600 mg/l değerler almış, ortalama %78'lik KOİ giderimi elde edilmiştir. Çıkış KOİ'si giriş KOİ'sine bağlı olarak değişmekte ve 30-150 mg/l aralığında değerler almaktadır.

### 8.3. SICAKLIK, pH VE ALKALİNİTE

Reaktörün fizikokimyasal durumu günlük olarak sürekli ölçülen pH ve alkalinite parametreleri ile sürekli kontrol edilmiştir. Çalışma boyunca sisteme pH ve alkaliniteyi dengelemek için hiçbir kimyasal madde ilavesi yapılmamıştır. Çalışma süresince reaktördeki alkalinite atıksuyun alkalinitesine göre bir miktar artış göstererek 210-520 mg/l aralığında gerçekleşmiştir. pH'nın 9 sınırına yaklaştığı hallerde ise sistemde amonyak yükselmesi nedeniyle verim düşmüştür. Çalışmada ulaşılan ilk 5 kararlı halde sistem  $30 \pm 5$  °C , diğer ikisinde ise  $25 \pm 5$  °C'de çalıştırılmış ve sıcaklığın verim üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir.

Çalışmanın ilk iki devresinde sistemde giriş pH'ı büyük bir salınım göstermesine rağmen çıkış pH'sı nisbeten dengelenmekte ve nötr değerler almaktadır. Söz konusu devrede pH ile ilgili hiçbir problemle karşılaşılmasına rağmen çalışmanın III.devresinde giriş pH'ının 10'a kadar artışı ile birlikte ciddi problemler oluşmuştur. Sistemde pH'nın yükselmesiyle birlikte amonyak büyük bir tehlike

oluşturmuş ve çıkış KOİ'sinin oldukça yüksek değerler almasına neden olmuştur. Bu durumda sistemin normal hale dönebilmesi için girişte pH ayarlaması yapılmış ve sistem amonyağın yıkanması için suyu ile beslenmiştir. Sözkonusu şartlarda sistemdeki amonyak konsantrasyonu 220 mg/l'ye kadar yükselmiştir.

#### 8.4. BİYOKİTLE

Reaktörde biyokitle dağılımının homojen olmadığı ve yer yer su ceplerinin teşekkül ettiği gözlenmiştir. Organik yükün artışına bağlı olarak sistemde biyokitle azalması olmakla birlikte, reaktör bu azalmadan fazla etkilenmemekte, başka bir deyişle  $\approx 6000$  mg/l gibi oldukça düşük ortalama biyokitle değerlerinde bile sistem kararlılığını koruyabilmektedir. Çalışmanın devam ettiği ilk iki kararlı hal süresince reaktörün tabanından itibaren Biyokitle Miktarının Reaktör Boyunca Değişimi üç , 3 ve 4. kararlı halde dört numune alma ağzında yoğun olan biyokitle miktarı son üç kararlı halde iki numune ağzına kadar düşme göstermiştir. Bu nedenle reaktördeki ortalama biyokitlenin bu kararlı haller için daha düşük değerler almasına neden olmuştur. Evsel atıksu kullanılarak yapılan bu çalışmada giriş KOİ değerinin nisbeten düşük oluşu dolayısıyla önemli miktarda gaz çıkışı gözlenmemiştir.

#### 8.5. KİNETİK DEĞERLENDİRME

Model havasız çamur yataklı reaktörde 3 yılı aşkın bir sürede gerçekleştirilen bu çalışma verileri, ikinci mertebe kinetiğine ve çok değişkenli lineer korelasyon modeline uygulanmış ve bu modellere oldukça yüksek korelasyonla uyum sağladığı görülmüştür.

Bu çalışmada ikinci mertebe KOİ giderim hızı,  $k_2 = 0.217 \text{ gün}^{-1} = 0.009 \text{ saat}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Bu değer  $\text{KOİ} \leq 700 \text{ mg/l}$ 'lik sentetik atıksu için hesaplanan  $k_2 = 1.665 \text{ gün}^{-1} = 0.069 \text{ saat}^{-1}$  değerinden oldukça küçüktür. Bu değerlere göre; sentetik atıksuyun evsel atıksuya göre 7 kat hızlı ayrıştığı söylenebilir.

Bu çalışmanın sonuçları ve literatürdeki diğer çalışmalar İkinci mertebe kinetiğine uygulanmış ve deney verileri ile model doğrusu arasında % 99.8'lik bir korelasyon hesaplanmıştır. Kararlı hallere ait ortalama  $S_0$  değerleri model denkleminde yerleştirilip çıkış KOİ değerleri ( $S_1$ ) hesaplanmış ve bu değerler ile çalışmadan elde edilen değerler arasında % 92.8'lik bir korelasyon olduğu saptanmıştır. Literatürde verilen değerlerin modele uygulanması sonucu elde edilen değerlerin genelde bir doğru üzerine düştüğü görülmektedir.

Biyolojik olarak güç ayrışan atıksulara ait model doğruları, ayrışma derecelerine göre yukarıya doğru ötelenmektedir. Yani atıksu kolay ayrışmayan bileşenler içeriyorsa modeldeki "a" ve "b" değeri büyümektedir. Deneysel çalışma verileri kullanılarak "a" ifadesi %78.5'lik bir korelasyonla  $-6.282(S_0/X) + 0.433$  olarak hesaplanmıştır.

Deneysel sonuçlar ile hesaplanan "a" ifadesi arasında genelde yüksek bir korelasyon olmakla birlikte zeytinyağı imalatı atıksuyu ile yapılan deneyler ve bu çalışmadan elde edilen korelasyon sayıları oldukça düşüktür. Atıksuyun özelliklerine göre " $\alpha$ " ve " $\beta$ " nin değişimi hakkında genel bir yorum yapılamamakla birlikte atıksuyun KOİ'si arttığında elde edilen noktalar sağa kaymakta aynı zamanda zor ayrışan atıksular için "a" nın aldığı değerler de artmaktadır.

Verilerin  $E = K\theta^a$  ifadesine uygulanması sonucu; kolay ayrışan atıksularda "K" yüksek değerler alırken "a" oldukça düşük olmakta, evsel atıksu güç ayrışan bileşenler içermesi durumunda ise "K" değerinin azaldığı görülmüştür. Kolay ayrışan atıksu ya da evsel atıksu eğer  $\theta < 2-3$  saat gibi düşük bekletme sürelerinde arıtıma tabi tutuluyorsa  $\theta$  'ya bağlı olarak KOİ giderim veriminde belirgin bir değişim gözlenmemektedir.

## 8.6. İLAVE ARITMA İLE AZOT VE FOSFOR GİDERİMİ

Havasız çamur yataklı reaktörde arıttan geçen evsel atıksu azot, fosfor ve koliform açısından alıcı ortama verilecek değerlerin çok üzerinde olduğundan reaktör

çıkışıındaki suya ilave arıtma yöntemlerinin uygulanması gerekli görülmüştür.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  kimyasal arıtmaya ilaveten iki saatlik havalandırmada en iyi giderimler elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda,  $\text{pH} \approx 11$ 'e karşı gelen 300-350 mg/l 'lik  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  konsantrasyonu optimum dozaj olarak belirlenmiştir. Bu şartlarda giriş atıksuyunun özellikleri  $\text{KOİ} < 30$  mg/l,  $\text{TKN} = 24.1$  mg/l,  $\text{NH}_3 = 24$  mg/l,  $\text{P} = 2.7$  mg/l ve  $\text{AKM} < 10$  mg/l iken TKN'de %65,  $\text{NH}_3$ 'te %74 ve toplam fosforda %90 varan giderimler elde edilmiştir.

Reaktör girişinde toplam koliform değeri  $9 \cdot 10^6$  adet koli/100 ml civarında olup, havasız arıtma sonrasında bu değer  $160\,000 - 2 \cdot 10^6$  adet koli/ 100 ml civarına, kimyasal arıtma sonrası ise  $16\,000 - 500\,000$  adet koli/100 ml'ye düşürülebilmektedir. Bu çalışma kapsamında reaktör bünyesinde koliform giderimi % 80-94, havasız reaktör çıkışıındaki atıksu kimyasal arıtma ve havalandırmaya tabi tutulduğunda ise ilave % 75 - 98 civarında koliform giderimi elde edilmektedir. Kimyasal arıtma sonrası elde edilen koliform konsantrasyonu yine oldukça yüksek değerlere sahiptir. Bundan dolayı, kimyasal arıtma sonrası çıkış suyunun ultraviyole ışınlarına tabi tutularak veya klor vb. bir maddeyle dezenfeksiyonu gerekmektedir.

## 8.7. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Evsel atıksuların model havasız çamur yatağı sistemiyle arıtıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Genelleştirilmiş gama dağılımı modeline göre model havasız çamur yatağı; çamur yatağı ve çamur örtüsünün oluşturduğu iki tam karışimli reaktör ile bunları izleyen piston akımlı bir reaktörden ibarettir. Piston akımlı kısım reaktör etkili hacminin yalnızca % 10' unu oluşturmaktadır. Modelin verdiği sonuçlara göre, sistem tam karışimli seri bağlı iki reaktör özelliği göstermektedir.
- Hiçbir süretle kimyasal madde ilavesi yapılmaksızın evsel atıksular havasız çamur yataklı reaktörlerde % 70'ı aşan verimlerle arıtılmaktadır.

- Sistem bünyesindeki fazla çamuru yıkayarak 20 000 mg/l civarında dengeye ulaşmaktadır. Sistemdeki biyokitle ( çamur yatağı + çamur örtüsü ) dengeye ulaştıktan sonra oldukça az miktarda fazla çamur üretilmektedir.
- Sistemde granüle çamur yerine daha ziyade floküler çamur oluşmaktadır. Çamur yatağı ve örtüsünde gözlenen floküler çamurla bile oldukça tatminkar verimler elde edilmektedir.
- Çıkıştaki askıda katı madde oldukça düşük olup nadiren 50 mg/l'yi aşmaktadır.
- Model havasız çamur yataklı reaktörde kararlı hallerde genelde 50 mg/l' lik değerlerine ulaşılabilir. Kararlı hal boyunca gözlenen değerlerin ortalaması olarak bu değer biraz daha yüksek olup 70 mg/l civarında gerçekleşmektedir.
- Havasız sistem çıkışındaki atıksu oldukça yüksek miktarda azot, fosfor ve koliform içerdiğinden ilave arıtmaya ihtiyaç duymaktadır. İlave kimyasal arıtma ile azot ve fosfor değerleri makul değerlere düşürülebilmekte fakat koliform giderimi yeterince gerçekleşmediği için dezenfeksiyona da ihtiyaç duyulmaktadır.
- Deneysel çalışmadan elde edilen verilerin ikinci mertebe kinetiği ve çok değişkenli lineer korelasyon modeline uyduğu ve model verileri ile gözlenen değerler arasında büyük bir uyum olduğu saptanmıştır.
- Çalışmanın son devrelerinde sistem ısıtılmaksızın beslenmiş ve bu halde sistemin ısıtılması haline göre belirgin bir verim değişikliği gözlenmemiştir. Bu devrede sistemin sıcaklığı  $25 \pm 5$  °C aralığında değişmiştir.
- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, havasız çamur yataklı reaktörlerde evsel atıksular oldukça uygun verimlerle arıtılmaktadır. Bu konuda daha sonra yapılacak çalışmalarda, havasız reaktör çıkış suyunun kalitesini arttırmak üzere çıkış suyu bir havuza verilip alg üretimi ile çıkış suyundaki azot ve fosfor fazlası giderilebilir. Buna ilaveten evsel atıksu arıtımında metan gazı endüstriyel atıksulara göre oldukça az miktarda üretildiğinden sistem kesikli olarak ısıtılarak mevcut gazın ısıtma işlemleri için yeterli olması sağlanabilir.
- Bu çalışmanın verileri ışığında boyutlandırılacak havasız çamur yataklı bir paket arıtma sistemi ile özellikle, sistemi ısıtma probleminin olmadığı sıcak ve ılıman iklim kuşağında yer alan yörelerde evsel atıksuların çevreye zarar vermeyecek ve ekonomik bir şekilde arıtımı sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] PAVLOSTATHIS, S.G., GIRALDO-GOMEZ, E., Kinetics of Anaerobic Treatment. Anaerobic Treatment Technology for Municipal and Industrial Wastewater. Water Science and Technology. Volume 24, Number 8, pp. 35-65 Ed.: M.S.Switzerbaum (1991).
- [2] GUJER, W., ZEHNDER, A.J.B., Conversion Processes in Anaerobic Digestion. Water Science and Techn., 15:(8/9):127-167 (1983).
- [3] VAN DER BERG., KENNEDY, K.J., Comparison of Advanced Anaerobic Reactors. 3.International Sym. on Anaerobic Digestion, Boston, USA (1983).
- [4] STRONACH. S.M., RUDD. T., LESTER, J.N., Anaerobic Digestion Processes in Industrial Wastewater Treatment. Springer Verlag (1986).
- [5] LACKEY, J.B., HENDRICKSON, E.R., Biochemical Basis of Anaerobic Digestion In: J.M.McCabe and W.W. Eckenfelder(eds.) Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes, Vol. II.9-24, Reinhold Publ. Co. New York (1958).
- [6] NOVAK, J.T., CARLSON, D.A., The Kinetics of Anaerobic Long Chain Fatty Acid Degradation. J.Wat.Poll.Cont.Fed., 42 pp.1932-1943 (1970).
- [7] CHYNOWETH, D.P., MAH, R.A., Volatile Acid Formation in Sludge Digestion In:Anaerobic Biological Treatment Processes. F.G.Pohland(ed.) Advances in Chemistry Series No. 105:41-54, American Chemical Society, Washington, D.C. (1971).
- [8] McINERNEY, M.J., BRYANT, N.P., Basic Principles of Bioconversions in Anaerobic Digestion and Methanogenesis. In: Biomass Conversion Processes for Energy and Fuels. S.R.Sofer and O.R. Zaborsky(Eds.) Plenum-Press, New York (1981).
- [9] DOLFING, J., Acetogenesis. In: Biology of Anaerobic Microorganisms. A.J.B. Zehnder(ed.) John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 417-468. (1988).

- [10] McCARTY, P.L., One Hundred Years of Anaerobic Treatment. In Proceedings of the 2nd Inter. Symp. on Anaerobic Digestion. Eds.D.E.Huges, D.A.Stafford at al, Elsevier Biomedical Press (1982).
- [11] JERIS, J.S., McCARTY, P.L., The Biochemistry of Methane Fermentation Using  $^{14}\text{C}$  Tracers. J.Wat.Poll.Cont.Fed., 37 pp.178-198 (1965).
- [12] SMITH, P.H., MAH, R.A., Kinetics of Acetate Metabolism During Sludge Digestion. Appl. Microbiol., Vol:14, pp.368-371, (1966).
- [13] UBAY, G., Havasız Çamur Yataklı Sistemlerin Kinetik Modellemesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi (1989).
- [14] Mc.CARTY, P.L., Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. Part III. - Toxic Materials and Their Control. Public Works. pp. 91-94 (1964).
- [15] SPEECE, R.E., Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment. Environ.Sci.Technol., Vol.17. No:9 pp. 416-427(1983).
- [16] HENZE, M., HARREMOES, P., Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors. Review Paper. IAWPR Specialised Seminar June 16-18,Denmark (1982).
- [17] HULSHOFF POL, L.W., DOLFING, J., et al. Cultivation of Well Adapted Pelletized Methanogenic Sludge. Biotechnology Letter., 4 : 329-332 (1982).
- [18] HULSHOFF POL, L.W., DE ZEEUW, W.J., et al. Granulation in UASB Reactor. Water Science and Technology., 15(8/9): 291-304 (1983).
- [19] DE ZEEUW, W,J., Acclimatization of Anaerobic Sludge for UASB-Reactor Start-up. Ph.D. Thesis, Agricultural University, Wageningen, the Netherlands(1984).
- [20] MANJUNATH, D.L et al., Treatment of Cane Sugar Mill Wastewater in Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors. In 44th Purdue IndustrialPurdue Conference Proceedings. Lewis Publishers, Chelsea, MI.pp 215-223(1989)
- [21] WU, W.M et al., Cultivation of Anaerobic Granular Sludge in UASB Reactor with Aerobic Activated Sludge as Seed, Water Science and Technology., 21:789-799.,(1987)
- [22] WIEGANT, W.M., CLAASSEN, J.A., LETTINGA, G., Thermophilic Anaerobic Digestion of High Strength Wastewaters. Biotechnology and Bioengineering., 27:1374-1381 (1985).

- [23] WIEGANT, W.M., DE MAN, A.W.A., Granulation of Biomass in Thermophilic Upflow Sludge Blanket Reactors Treating Acidified Wastewaters. Biotechnology and Bioengineering., 28:718-727 (1986).
- [24] POHLAND, F.G., Anaerobic Biological Treatment Process. Advanced in Chemistry Series 105. American Chemical Society, Washington DC (1971).
- [25] HICKEY, R.F., et al. Start-up, Operation, Monitoring and Control of High Rate Anaerobic Treatment Systems. Anaerobic Treatment Technology for Municipal and Industrial Wastewaters. Water Science and Technology Volume 24 Number 8. pp.207-257 (1991).
- [26] (LETTINGA, G., HULSHOFF Pol., UASB-Process Design for Various Types of Wastewaters. Water Sci.Techn. Vol.24. No.8, pp.87-108 (1991).
- [27] UBAY, E., ÖZTÜRK, İ., UBAY, G., Evsel Nitelikli Atıksuların Anaerobik Olarak Arıtılabilirliği, Çevre Biyolojisi Sempozyumu, Ankara. (1990).
- [28] ÖZTÜRK. İ., DEMİR. İ., Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerde Granülasyona Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, İ.T.Ü. UYGAR Araştırma Geliştirme Projesi. Ocak (1989).
- [29] Anaerobic Digestion. Ed. D.A. Stafford, B.I. Wheatly et al. Applied Science Pub.Ltd. London (1980).
- [30] LETTINGA, G., HOBMA, S.W., HULSHOFF POL, L.W., et al., Design Operation and Economy of Anaerobic Treatment. Water Science and Techn. Vol.15, Copenhagen, pp. 177-195 (1983).
- [31] HARPER, S.R., POHLAND, F.G., ROEDER, M.L., Biological Waste Treatment in Global Perspective. Proceedings Biowaste'92. I.Int. Conf. and Exhibition on Biological Waste Treatment (1992).
- [32] ANDERSON, G.K., ve DONNELLY, T., Anaerobic Contact Digestion for Treating High Strength Soluble Wastes, In New Processes of Waste Water Treatment and Recovery, Ed. G.Mattock, Ellis D.Morwood, (1978).
- [33] ANDERSON, G.K., SAW, C.B., State of the Art of Anaerobic Digestion for Industrial Applications in the UK, Ind. Waste Conf. in Purdue Univ.,(1984).
- [34] YOUNG, J.C., McCARTY. P., The Anaerobic Filter for Waste Treatment, Proc. of the 22 nd Int. Waste Conf.in Purdue Univ., Lafayette, USA (1967).

- [35] YOUNG, J.C., Factors Affecting the Design and Performance of Upflow Anaerobic Filters. Water Sci.Techn. Vol.24. No.8, pp.133-155 (1991).
- [36] TİMUR, A., Kuvvetli Atıkların Yukarı Akışlı Havasız Filtrelerde Arıtım Kinetiği. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi (1986).
- [37] HEIDMAN, J.A., Technology Assessment of Anaerobic Systems for Municipal Wastewater Treatment: 1. Anaerobic Fluidized Bed 2. Anflow. EPA EPA.600/2. B2.004 (1982).
- [38] ÖZTÜRK. İ., Havasız Akışkan Yataklı Reaktörlerde Optimum İşletmeye Alma Stratejisi, İ.T.Ü. Dergisi, 44, 516, 26-36 (1986).
- [39] IZA, J., Fluidized Bed Reactors for Anaerobic Wastewater Treatment. Water Sci.Techn. Vol.24. No.8, pp.109-132 (1991).
- [40] SUTTON. P.M., LI. A., et al. Dorr-Oliver's Fixed-Film, Suspended-growth Anaerobic System for Industrial Wastewater Treatment and Energy Recovery. Industrial Waste Conf. in Purdue (1982).
- [41] TILCHE, A., VIEIRA, S.M.M., Discussion Report on reactor Design of Anaerobic Filters and Sludge Bed Reactors. Water Sci. Technol. Vol.24. No.8, pp.193-206 (1991).
- [42] GARUTI, G., et al., Anaerobic-aerobic Combined Process for The Treatment of Sewage With Nutrient Removal: The ANANOX Process. Water Science and Technology. Vol.25. pp.383-394 (1992).
- [43] POHLAND, F.G., GHOSH, S., Developments in Anaerobic stabilization of Organic Wates -The Two Phase Concept. Environmental Letters 1(4), 255-266 (1971).
- [44] LETTINGA, G., van VELSEN, A.F.M., et al., Use of UASB Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Especially for Anaerobic Treatment, Biotechnology and Bioengineering XXII, 699-734, (1980).
- [45] WEILAND, P., ROZZI, A., The Start-up, Operation and Monitoring of High-rate Anaerobic Treatment Systems: Discusser's Report. Water Sci.Techn. Vol.24. No.8, pp.257-277 (1991).
- [46] MONOD, J., The Growth of Bacterial Cultures, Ann. Rev. Microbiol. Vol.3, pp. 371-394 (1949).

- [47] SHAABAN BIN GHAZALY., Scale -up Studies on Anaerobic Dispersed Growth Digesters. Ph.D.Thesis. University of Newcastle Upon Tyne Dept. of Civil Eng., Div. of Public Health Eng. (1986)
- [48] GRAEF, S.P., Automatic Control of the Anaerobic Digester. American Institute of Chemical Engineers Symposium Series, Water-1974:11 Municipal Waste Treatment, No. 145, Vol. 71, pp.343-348 (1974).
- [49] ANDREWS. J.F., A Mathematical Model for the Continuous Culture of Microorganisms Utilizing Inhibitory Substrates. Biotechnology and Bioengineering, Vol. 10, pp. 95-116 (1968).
- [50] HEYES, R.H.ç HALL, R.J., Anaerobic Digestion Modelling-The Role of H<sub>2</sub>. Biotechnology Letters. Vol. 3, No. 8, pp. 431-436 (1981).
- [51] MOSEY, F., Mathematical Modelling of the Anaerobic Digestion. Process Regulatory Mechanism for the Formation of Short-chain Volatile Acids from Glucose. IAWPR In Fixed-film Reactors, Copenhagen (1982).
- [52] GRAU, P., et al. Kinetics of Multicomponent Substrate Removal by Activated Sludge, Water Research. Vol.9, pp. 337-342 (1975).
- [53] NOYALA, A., ve diğ., Anaerobic Treatment of Domestic Sewage with a Rotating-Stationary Fixed-Film Reactor, Water Research Vol:12, pp.1585-1592 (1988).
- [54] LETTINGA, G., ROERSMA, R., GRIN, P., Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage at Ambient Temperatures Using a Granuler Bed UASB Reactor, Biotechnology and Bioengineering, 25, 1701-1723,(1983).
- [55] ROCKEY, J.S., FORSTER, C.F., The Use of an Anaerobic Expanded Bed Reactor for the Treatment of Domestic Sewage, Environmental Technology Letter 3 , pp.487-496(1982) .
- [56] SWITZENBAUM, M.S., JEWELL, W.J., Anaerobic Attached-Film Expanded-Bed Reactor Treatment. Journal Water Pollution Control Federation., Vol.52, pp.1953-1965, (1980).
- [57] SCHERRER, E.A., Treatment of Domestic Wastewater with the Anaerobic Filter. Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana, IL, (1981).

- [58] GRIN, P., ROERSMA, R., LETTINGA, G., Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage in UASB Reactors at Temperatures from 9-20°C. Proceedings of the Seminar/Workshop Anaerobic Treatment of Sewage. Ed: Michael S.Switzenbaum pp. 109-124 (1985).
- [59] GENUNG, R.K., DONALDSON, T.R., REED, G.D., Pilot-Scale Development of Anaerobic Filter Technology for Municipal Wastewater Treatment. Proceedings of the Seminar/Workshop Anaerobic Treatment of Sewage. Ed: Michael S.Switzenbaum, pp. 127-161 (1985).
- [60] BROWN, D.S., MEHROTRA, S., PETRASEK, A.C., et al, Evaluation of Anaerobic, Expanded-Bed Contactors for Municipal Wastewater Treatment. Proceedings of the Seminar/Workshop Anaerobic Treatment of Sewage. Ed: Michael S.Switzenbaum pp.209-259(1985)
- [61] SCHELLINKHOUT, A., LETTINGA, G., et al. The Application of the UASB-Reactor for the Direct Treatment of Domestic Wastewater Under Tropical Conditions. Proceedings of the Seminar/Workshop Anaerobic Treatment of Sewage. Ed:Michael S.Switzenbaum pp. 259-276 (1985).
- [62] SIMPSON, D.E., Investigations on a Pilot Contact Digester for the Treatment of a Dilute Urban Waste. Water Research. Vol.5.(1971).
- [63] YOUNG, J.C., McCARTY, P.L., The Anaerobic Filter for Waste Treatment. J.Water Pollution Control Fed. (1969).
- [64] PRETORIUS, W.A., Anaerobic Digestion of Raw Sewage, Water Research V:5, pp.681-687. (1971).
- [65] KOBAYASHI, H.A., STENSTROM, M.K., MAH, R.A., Treatment of Low Strength Domestic Wastewater Using The Anaerobic Filter, Water Research, Vol.17, pp.903-910 (1983).
- [66] COULTER, J.B., SONEDA, S., ETTINGER, M.B., Anaerobic Contact Process for Sewage Disposal. Sew. & Ind.Wastes. Vol.29. (1968).
- [67] LETTINGA, G., ve Diğ. High-Rate anaerobic Waste-water Treatment Using the UASB Reactor Under a Wide Range of Temperature Conditions. Biotechnology and Genetic Engineering Reviews-Vol:12 (1984).
- [68] de MAN., A.W.A., ve Diğ. The Use of EGSB and UASB Anaerobic Systems for Low Strength Soluble and Complex Wastewaters at Temperatures Ranging from 8 to 30 °C. Anaerobic Digestion 1988.

- [69] BARBOSA, R.A., ve SANT'ANNA Jr. G.L., Treatment of Raw Domestic in an UASB Reactor. Water Research, Vol:23, No:12, pp.1483-1490 (1989).
- [70] COLLVIGNARELLI, C., URBINI, G., et al., Anaerobic-Aerobic Treatment of Municipal Wastewaters with Full-Scale Upflow Anaerobic Sludge Blanket and Attached Biofilm Reactors. Water Science and Technology. Vol.22, No:1/2. pp.475-482 (1990).
- [71] SWITZENBAUM, M.S., ve Diğ., anaerobic Treatment of Primary Effluent. Environmental Techn. Letter. Vol:5, pp.189-200 (1984).
- [72] LETTINGA G., ve diğ., Design, Operation and Economy of Anaerobic Treatment, IAWPR Seminar an Anaerobic Treatment, Copenhagen, June, 16-18. (1982).
- [73] JEWELL, W.J., ve diğ., Municipal Wastewater Treatment with the Anaerobic Attached Microbial Film Expanded Bed Process, Journal WPCF, Volume 53, Number 4. (1981).
- [74] RAMAN, V., KHAN, A.N., Upflow Anaerobic Filter : a Simple Solution for Sewage Treatment, Presented at the International Conference in Water Pollution Control in Developing Countries, Bangkok, Thailand, February, 21-25. (1970).
- [75] De WALLE, F.B., KENNEDY, J.C., et al., Treatment of Domestic Sewage with the Anaerobic Filter, Proc. U.S. Dept.of Energy Workshop/Seminar on Anaerobic Filters, 143-157.
- [76] GRIN, P.C., ROERSMA, R.E., ve LETTINGA, G., Anaerobic Treatment of Raw Sewage at Lower Temperatures. Proc. European Symp. on Anaerobic Wastewater Treatment (AWWT), pp. 335-347. Noordwijkerhout, the Netherlands.
- [77] VIEIRA, A.M.M., Tratamento de Esgotos por Digestores Anaerobios de Fluxo Ascendente. Rewista DAE pp.44,139. (1984).
- [78] VIEIRA, A.M.M., SOUZA, M.E., Development of Technology for the Use of the UASB Reactor in Domestic Sewage Treatment, Proc. IAWPRC-Int. Seminar on Anaerobic Treatment in Tropical Countries, Sao Paulo, Brazil.(1986).
- [79] de MAN, A.W.A., ve Diğ. Anaerobic Treatment of Municipal Wastewater at Low Temperatures. Proc. Anaerobic Treatment a Grown-up Technology (AQUATECH'86), Amsterdam, the Netherlands (1986).

- [80] NOBRE ve Diğ. Experimentos em digestao anaerobic de esgotos Urbanos. Rewista DAE 47. pp.75-85 (1987).
- [81] VIEIRA, A.M.M., Anaerobic Tretmant of Domestic Sewage in Brazil-Research, Results and Full-scale experience. Proc. Fifth Int.Sym. on Anaerobic Digestion, pp.185-196. Bologna - Italy (1988).
- [82] SCHELLINKHOUT, A., ve Diğ., Sewage Treatment: The Anaerobic way is advancing in Colombia. Proc. Fifth Int.Sym. on Anaerobic Digestion, pp.767-770. Bologna - Italy (1988).
- [83] MONROY, O., ve Diğ., Anaerobic Gigestion and Water Hyacinth as a Hihgly Efficient Treatment Process for Developing Countries. Proc. Fifth Int.Sym. on Anaerobic Digestion, pp.747-751, Bologna - Italy (1988).
- [84] de MAN, A.W.A., ve Diğ. Anaerobic Treatment of Sewage Using a Granular Sludge Bed UASB-Reactor. Proc. Fifth Int.Sym.on Anaerobic Digestion, pp.735-738, Bologna - Italy (1988).
- [85] GENUNG, R.K., ve diğ., Energy Conservation and Methane Production in Municipal Wastewater Treatment Using Fixed-Film, Anaerobic Bioreactors, Biotechnology and Bioengineering Symp. 12, 365-380.(1982).
- [86] YODA, M., et al., Treatment of Municipal Wastewater by Anaerobic Fluidized Bed: Behaviour of Organic Suspended Solids in Anaerobic Reactor. In Proceedings of the Seminar/Workshop Anaerobic Treatment of Sewage. Ed: Michael S.Swizenbaum pp. 161-196 (1985).
- [87] OROZCO, A., Anaerobic Wastewater Treatment Using an Open Flow Baffled Reactor at Low Temperature. In Poster Papers Proc. Fifth Int.Sym. on Anaerobic Digestion, pp.759-762. Bologna - Italy (1988).
- [88] TANAKA S., et al., Removal of Organic Constituents in Municipal Sewage Using Anaerobic Fluidized Sludge Blanket and Anaerobic Filter. Water Science and Technology Vol.23. Kyoto, pp. 1301-1310 (1991).
- [89] SANZ, I., et al., Performance nad Comparative Start-up of Anearobic Fluidized Bed Reactors Which Treat Domestic Sewage at Low Temperature. Proc.Fifth Int.Sym. on Anaerobic Digestion, pp.763-766.Bologna - Italy (1988).
- [90] HASKONING., Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater Under Tropical Conditions. Final Report-Pilot Plan Research (1989).

- [91] VIEIRA, S.M.M., GARCIA, A.D., Sewage Treatment by UASB Reactor. Operation Results and Recommendations for Design and Utilization. Water Science and Technology Vol.25. No.7, pp.143-158 (1992).
- [92] DRAAIJER, H., et al., Performance of the 5mld UASB Reactor for Sewage Treatment at Kanpur, India. Water Science and Technology Vol.25. pp.123-133 (1992).
- [93] KIRIYAMA, K., et al., Field Test of a Composite Methane Gas Production System Incorporating a Membrane Module for Municipal Sewage. Water Science and Technology Vol.25. pp. 135-141 (1992).
- [94] UBAY,E., Seyreltik Atıksuların Havasız Arıtımı,İTÜ Fen Bilimleri Ens.,Yüksek Lisans Tezi. (1991).
- [95] AWWA Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 16<sup>th</sup> Edition (1985).
- [96] LEVENSPIEL, O., Chemical Reaction Engineering John Wiley & Sons. 2<sup>nd</sup> Edition (1972).
- [97] WEN, C.Y., FAN, L.T., Model for Flow Systems & Chemical Reactors, Marcel Dekker Inc. (1975).
- [98] KENNEDY, K.J., DROSTE, R.L., Anaerobic Wastewater Treatment in Downflow Stationary Fixed Film Reactors. Water Science and Technology, Vol.24, No.8, pp.157-177 (1991).
- [99] SAMSON, R., et al., Mixing Characteristics and Start-up of Anaerobic Stationary Fixed Film (DSFF) Reactors. Biotechnol. and Bioeng. Vol.27, p.10-19 (1985).
- [100] SAMSON, R., KENNEDY, K.J., Effect of Reactor Height on Mixing Characteristics and Performance of the Anaerobic Down-flow Stationary Fixed Film (DSFF) Reactor. Journal of Biotechnol., Vol.2, pp. 95-106 (1985).
- [101] HARPER, S.R., SUIDAN, M.T., Anaerobic Treatment Kinetics: Discussers' Report. Water Science and Technology, Vol.24, No.8, pp.61-78 (1991).
- [102] ÇİLER, M., Kuvvetli Atıksuların Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yatağında Arıtım ve Tasarım Esasları. İTÜ Fen Bilimleri Ens., Doktora Lisans Tezi (1985).

- [103] YOUNG., J.C., Factors Affecting the Design and Performance of Upflow Anaerobic Filters. Water Science and Technology. Vol.24, No.8, pp.133-155. (1991).
- [104] ÖZTÜRK, İ., UBAY, G., ŞAKAR, S., Zeytinyağı İmalatı Proses Atıksularının Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerde Arıtımı ve Biyoenerji Geri Kazanımı TÜBİTAK DEBÇAG-56 Projesi (1990).
- [105] D.W., HARRINGTON., An Evaluation of the Blue Circle Clarifloc Process for Sewage Treatment. Process & D.E.Smith of Blue Circle Industries PLC (1987).
- [106] A.D., MÜFTÜOĞLU, Treatability of İstanbul Yenikapı Discharge Wastewater by Chemical Precipitation . Master of Science Thesis. İTÜ İnstitute of Science and Technology (1991).
- [107] DUARTE,E.A., et al., Removal of Salmonella, Streptococci and Colidorms in Pig Breeding Effluent by Anaerobic Mesophilic Digestion. Water Science and Technology. Vol.26, No.9-11. pp. 2169-2172 (1992).

## ÖZGEÇMİŞ

Çevre Yüksek Mühendisi Gülseven UBAY, 1965 yılında Rize'de doğmuştur. Nişantaşı Kız Lisesi'ni 1982 yılında bitirmiş, aynı yıl girdiği İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 1986 yılında Bölüm ikincisi olarak mezun olmuştur. 1984-85 öğretim yılında İstanbul Sanayi Odası'ndan karşılıksız burs almıştır. Mezuniyetinden sonra İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 1989 yılında Çevre Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programını birincilikle bitirip yüksek mühendis unvanını almıştır. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Anabilim Dalında Doktora eğitimine başlamıştır. 1987 yılından beri İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışan Çevre Yüksek Mühendisi Gülseven Ubay, özellikle havasız arıtma konusunda olmak üzere pekçok deneysel çalışma ve araştırma projesinde görev almıştır. Halen Kağıt Sanayi Araştırma ve Uygulama Merkezi Kurulması (DPT), Ekolojik Dengenin Korunması ve Sürdürülmesi Açısından Kentsel Sistemlerin Planlanması (TÜBİTAK DEBÇAG 152/G) ve Organize Sanayi Bölgelerinde Çevre Kirliliğini Minimize Edici Teknolojilerin ve Maliyet Boyutlarının Belirlenmesi (TÜBİTAK Proje Kod No:DEBÇAG 151/G) projelerinde aktif olarak çalışmalarını sürdürmektedir.