

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SUSUZLAŞTIRILMIŞ KENTSEL ARITMA ÇAMURLARINA AİT SIZINTI  
SULARININ BİYOLOJİK AYRIŞABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Merve ÇIRPICI**

**Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği**

**Programı : Çevre Bilimleri ve Mühendisliği**

**HAZİRAN, 2009**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SUSUZLAŞTIRILMIŞ KENTSEL ARITMA ÇAMURLARINA AİT SIZINTI  
SULARININ BİYOLOJİK AYRIŞABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Merve ÇIRPICI**

**(501061714)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Haziran 2009**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. H. Güçlü İNSEL (İTÜ)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Seval SÖZEN (İTÜ)**

**Doç. Dr. Bülent MERTOĞLU  
(MARMARA Ü)**

**HAZİRAN, 2009**



## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi ve yönlendirilmesindeki katkılarından dolayı değerli hocam Doç. Dr. H. Güçlü İNSEL' e; çalışma boyunca büyük katkılarını aldığım değerli hocam Doç. Dr. Emine UBAY ÇOKGÖR' e en içten şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Tuğba ÖLMEZ ve Yük. Müh. Aslı CİĞGIN' a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme, Müh. Öner KAYSERİLİOĞLU' na, OZA İnşaat Gn. Müd. Bülent ERDEM ve çalışma arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2009

Merve Çırpıcı  
Çevre Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi .....	2
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	4
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ .....</b>	<b>5</b>
2.1 Arıtma Çamuru Tanımı .....	5
2.2 Arıtma Çamurlarına Uygulanan İşlemler .....	11
2.2.1 Yoğunlaştırma .....	13
2.2.2 Stabilizasyon .....	13
2.2.2.1 Aerobik stabilizasyon.....	15
2.2.2.2 Anaerobik stabilizasyon .....	16
2.2.2.3 Kireç stabilizasyonu .....	17
2.2.2.4 Kompostlaştırma .....	17
2.2.2.5 Stabilizasyona yardımcı prosesler.....	18
Mekanik dezentegrasyon.....	19
Kimyasal dezentegrasyon .....	19
Isıl arıtma .....	20
Biyolojik dezentegrasyon.....	20
2.2.3 Susuzlaştırma .....	20
2.2.4 Şartlandırma .....	22
2.3 Nihai Bertaraf Yöntemleri .....	22
2.3.1 Yakma .....	22
2.3.2 Tarımda kullanım .....	23
2.3.3 Düzenli depolama .....	23
2.4 Arıtma Çamurlarının Yasal Mevzuattaki Yeri .....	24
2.4.1 Türkiye'deki durum .....	24
2.4.2 Avrupa'daki durum .....	26
2.4.2 ABD' deki durum .....	28
<b>3. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>29</b>
3.1 Atıksu Arıtma Tesisleri .....	29
3.2 Analiz Programı.....	31
3.2.1 Katı madde muhtevası.....	31

3.2.2 Katıdan özütleme analizi .....	34
3.2.3 Biyolojik reaktörün kurulması .....	34
3.2.4 Toplam Organik Karbon (TOK) ve Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) .....	34
3.2.5 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) .....	34
3.2.6 Respirometrik analizler .....	35
3.3 Respirometrik Modelleme Çalışmaları.....	36
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI.....</b>	<b>39</b>
4.1 Çamur Keki Deneylerinin Sonuçları .....	39
4.1.1 AAT-1'e ait deney sonuçları .....	39
4.1.2 AAT-2' ye ait deney sonuçları .....	39
4.2 İnert KOİ Çalışmaları .....	40
4.2.1 AAT-1'e ait deneysel sonuçlar.....	40
4.2.2 AAT-2'ye ait deneysel sonuçlar.....	43
4.3 Respirometrik Çalışmaların Sonuçları.....	45
4.3.1 AAT-1'e ait modelleme sonuçları.....	45
4.3.2 AAT-2'ye ait modelleme sonuçları.....	49
4.4 AAT-1 ve AAT-2' nin Karşılaştırılması.....	53
<b>5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....</b>	<b>56</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>63</b>



## KISALTMALAR

<b>AAT</b>	: Atıksu Arıtma Tesisi
<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>AKM</b>	: Askıda Katı Madde
<b>ÇOK</b>	: Çözünmüş Organik Karbon
<b>DAF</b>	: Dissolved Air Flotation (Çözünmüş Hava Flotasyonu)
<b>KM</b>	: Katı Muhtevası
<b>KOİ</b>	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>SKKY</b>	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği
<b>TOK</b>	: Toplam Organik Karbon
<b>TAKY</b>	: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
<b>TKKY</b>	: Toprak Kirliliğini Kontrol Yönetmeliği
<b>UAKM</b>	: Uçucu Askıda Katı Madde
<b>UWWTD</b>	: Urban Wastewater Treatment Directive



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 2.1</b> : Arıtma çamurlarının kaynakları ve özellikleri .....	<b>9</b>
<b>Çizelge 2.2</b> : Çeşitli arıtma proseslerinden çıkan arıtma çamurlarının katı madde yüzdeleri .....	<b>14</b>
<b>Çizelge 2.3</b> : Susuzlaştırma metotları sonunda elde edilen katı madde muhtevaları .	<b>21</b>
<b>Çizelge 2.4</b> : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11, Atıkların düzenli depo tesislerinde depolanabilme kriterleri (Eluat kriterleri). .....	<b>25</b>
<b>Çizelge 2.5</b> : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11, Atıkların düzenli depo tesislerinde depolanabilme kriterleri (Orijinal atık kriterleri) ...	<b>26</b>
<b>Çizelge 3.1</b> : AAT-1 ve AAT-2' ye ait giriş atıksu karakterizasyonu .....	<b>30</b>
<b>Çizelge 3.2</b> : AAT-1 ve AAT-2' ye ait atıksu arıtma % verimleri. ....	<b>30</b>
<b>Çizelge 3.3</b> : Çamur numunelerine uygulanan analizler.....	<b>36</b>
<b>Çizelge 3.4</b> : ASM 1 modeline ait matris gösterimi .....	<b>38</b>
<b>Çizelge 4.1</b> : AAT-1 ve AAT-2'den alınan çamur keklerine ait TOK ve ÇOK parametrelerinin sonuçları.....	<b>40</b>
<b>Çizelge 4.2</b> : AAT-1 ve AAT-2'den alınan çamur keklerine ait KOİ parametrelerinin sonuçları.....	<b>40</b>
<b>Çizelge 4.3</b> : AAT-1'den alınan çamur keki süzütüsüne ait biyolojik reaktörün başlangıç ve son KOİ değerleri .....	<b>42</b>
<b>Çizelge 4.4</b> : AAT-1'den alınan çamur keki süzütüsüne ait biyolojik reaktörün başlangıç ve son KOİ değerleri .....	<b>44</b>
<b>Çizelge 4.5</b> : AAT-1'den elde edilen çamur süzütüsüne ait kinetik katsayılar .....	<b>46</b>
<b>Çizelge 4.6</b> : Evsel atıkların süzütüsüne ait kinetik katsayılar. ....	<b>46</b>
<b>Çizelge 4.7</b> : AAT-1'in süzütü suyuna ait KOİ bileşenleri .....	<b>47</b>
<b>Çizelge 4.8</b> : AAT-1'e ait biyokütle kompozisyonu ve KOİ bileşenleri .....	<b>48</b>
<b>Çizelge 4.9</b> : AAT-2 için çamur süzütü suyuna ait kinetik katsayılar .....	<b>51</b>
<b>Çizelge 4.10</b> : AAT-2 için model parametreleri .....	<b>51</b>
<b>Çizelge 4.11</b> : AAT-2'ye çamur süzütü suyuna ait KOİ bileşenleri .....	<b>52</b>
<b>Çizelge 4.12</b> : AAT-2'ye ait biyokütle kompozisyonu .....	<b>52</b>
<b>Çizelge 4.13</b> : AAT'lere ait çamur keki ve çamur keki süzütüsü konsantrasyonu .	<b>54</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Biyolojik azot - fosfor giderimi akım şeması.....	7
Şekil 2.2 : Uzun havalandırmalı biyolojik azot fosfor giderimi akım şeması .....	8
Şekil 2.3 : Türkiye’de bölgeler bazında üretilen toplam çamur miktarı.....	10
Şekil 2.4 : Arıtma çamurlarına uygulanan temel işlemler (Qasim, 1999).....	12
Şekil 2.5 : Anerobik çürütücü tipleri kesit görünüşü.....	16
Şekil 2.6 : Kompostlaştırma mekanizması .....	18
Şekil 3.1 : AAT-1’e ait atıksu akım şeması.....	32
Şekil 3.2 : AAT-2’ye ait atıksu akım şeması.....	33
Şekil 4.1 : AAT-1’ e ait toplam ve süzölmüş KOİ değişim grafiği.....	41
Şekil 4.2 : AAT-1’ e ait TOK ve ÇOK değişim grafiği.....	42
Şekil 4.3 : AAT-2’ ye ait 1,2 µm filtreden süzölen numunenin KOİ değişim grafiği.....	43
Şekil 4.4 : AAT-2’ ye ait 1,2 µm filtreden süzölen numunenin TOK/ÇOK değişim grafiği .....	44
Şekil 4.5 : AAT-1’ e ait süzölmüş atıksuda Oksijen Tüketim Hızı (OTH) profili. ...	45
Şekil 4.6 : AAT-1’ e ait 1,2 µm filtreden süzölen susuzlaştırılmış çamurun inert KOİ reaktöründeki KOİ modeli (Model sonucu) .....	49
Şekil 4.7 : AAT-1’ e ait 0,45 µm filtreden süzölen susuzlaştırılmış çamurun inert KOİ reaktöründeki KOİ modeli (Model sonucu).....	49
Şekil 4.8 : AAT-2 için çamur süzöntü suyunda Oksijen Tüketim Hızı (OTH) profili.....	50



## SEMBOL LİSTESİ

<b><math>b_H</math></b>	: İçsel Solunum Hızı, $\text{gün}^{-1}$
<b><math>C_T</math></b>	: Girişteki Toplam KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>(C_T)_1</math></b>	: Reaktördeki Nihai Toplam KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>\text{ÇOKo}</math></b>	: Başlangıç Çözünmüş Organik Karbon Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>\text{ÇOKt}</math></b>	: Çıkış Çözünmüş Organik Karbon Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>k_{HS}</math></b>	: Hızlı Hidroliz Olabilen KOİ' ye ait Maksimum Hidroliz Hızı, $\text{gün}^{-1}$
<b><math>k_{HX}</math></b>	: Yavaş Hidroliz Olabilen KOİ' ye ait Maksimum Hidroliz Hızı, $\text{gün}^{-1}$
<b><math>K_S</math></b>	: Heterotrofik Çoğalma İçin Yarı Doygunluk Sabiti, mg/L
<b><math>K_{XS}</math></b>	: Hızlı Hidroliz Olabilen KOİ' ye ait Hidroliz Yarı Doygunluk Sabiti, $\text{gKOİ/gKOİ}$
<b><math>K_{XX}</math></b>	: Yavaş Hidroliz Olabilen KOİ' ye ait Hidroliz Yarı Doygunluk Sabiti, $\text{gKOİ/gKOİ}$
<b><math>\text{KOİo}</math></b>	: Başlangıç Kimyasal Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>\text{KOİt}</math></b>	: Çıkış Kimyasal Oksijen İhtiyacı Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>S_H</math></b>	: Hızlı Hidroliz Olabilen KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>S_I</math></b>	: Çözünmüş İnert KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>S_P</math></b>	: Çözünmüş Metabolik Ürünlerin KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>S_S</math></b>	: Kolay Ayrışabilir KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>S_T</math></b>	: Toplam Çözünmüş KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>(S_T)_1</math></b>	: Reaktördeki Nihai Çözünmüş KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>X_A</math></b>	: Reaktördeki Ototrofik Biyokütle Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>X_I</math></b>	: Partiküler İnert KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>X_H</math></b>	: Reaktördeki Heterotrofik Biyokütle Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>X_{PAO}</math></b>	: Reaktördeki Fosfor Depolayan Biyokütle Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>X_S</math></b>	: Yavaş Hidroliz Olabilen KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>X_T</math></b>	: Toplam Partiküler KOİ Konsantrasyonu, mg/L
<b><math>\hat{\mu}_H</math></b>	: Maksimum Heterotrofik Çoğalma Hızı, $\text{gün}^{-1}$





## **SUSUZLAŞTIRILMIŞ KENTSEL ARITMA ÇAMURLARINA AİT SIZINTI SUYUNUN BİYOLOJİK AYRIŞABİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **ÖZET**

Evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin bir ürünü olan arıtma çamurları gün geçtikçe büyük çevre problemleri oluşturmaktadır. Susuzlaştırılan arıtma çamuru'nun düzenli depolama alanlarına gönderilmesi uygulanan nihai bertaraf yöntemlerinden biridir. Çamurun, içeriğindeki organik madde miktarı ve biyolojik aktivitesine göre stabilize olup olmadığı belirlenmektedir. Çamurun düzenli depolama alanlarına bertaraf edilebilmesi için stabilize olması ve Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY)' ne göre tehlikeli olarak nitelendirilmemesi gerekmektedir. Çünkü, çamurun düzenli depolama alanlarına bertarafı sonucu, çamur kekindeki mevcut su çevresel faktörlerin de etkisiyle sızıntı suyuna karışır. Sızıntı suyundaki Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) ve çamur kekindeki Toplam Organik Karbon (TOK) seviyeleri yönetmeliklerde yer alan sınır değerlerinin üzerindedir. Dolayısıyla, sızıntı suyu yeraltı suyuna karıştığı takdirde çevreye olduğu kadar sağlığa da zararlı hale gelmektedir. Arıtma çamurları düzenli depolama ile bertaraf edildiği takdirde, katı atık depolama tesislerinde sızma sonucu ortaya çıkan etkiler de dikkate alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında, kentsel atıksu arıtma tesisleri ürünü olan arıtma çamurlarından kaynaklanan sızıntı suyunun organik madde içeriği değerlendirilmiştir. Bu amaçla yürütülen deneyler çerçevesinde Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Organik Karbon (TOK) ve Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) analizleri yürütülmüştür. 2 adet kentsel arıtma çamurlarından kaynaklanan sızıntı suyu kullanılarak respirometri bazlı modelleme çalışmaları gerçekleştirilerek KOİ bileşenleri ve kinetik ve stokiyometrik sabitler belirlenmiştir. Ayrıca modelleme ve respirometrik analizler sonucu bulunan kinetik katsayılar, arıtma çamur keklerinin alındığı atıksu arıtma tesisi (AAT)'ne ait değerlerle uyumluluk göstermektedir.



## **EVALUATION THE BIODEGRADIBILITY OF DEWATERED URBAN SLUDGE LEACHATE**

### **SUMMARY**

Sludge, the primary product of domestic and industrial waste water treatment plants, generates accelerated severe environmental problems. Landfill application to dewatered sludge, is one of the used disposal methods. The stabilization degree of the sludge is the measure of the organic matter content and biomass activity. To dispose the dewatered sludge to the sanitary landfills, the sludge must be stabilized and qualified as not hazardous waste due to the EEC (1986). Because, water content at the sludge cake is mixed with leachate with the help of the rain at the landfill regularly. A certain degree of Dissolved Organic Carbon (DOC) concentration in leachate from dewatered sludge and Total Organic Carbon (TOC) parameter sludge cake are not permitted for environment due to the EEC (1986). If sludge infiltration mix with groundwater, it becomes unhealthy for the nature as well as the human health. The effects should be taken into consideration from the result of leaching at sanitary landfills.

In this study, the biodegradability of organics in the leachate of dewatered urban wastewater treatment sludge samples were investigated. The tests was applied on the basis of Chemical Oxygen Demand (COD), Total Organic Carbon (TOC). Chemical Oxygen Demand (COD) fractions in leachate was determined together with the estimation of kinetic and stoichiometric parameters with the use of respirometric analysis. Finally, kinetic and stoichiometric parameters which found by modelling and respirometric analysis, was found to be in concert with model parameters of respective wastewater treatment plants.



## 1. GİRİŞ

2006 yılında Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yayınlanan Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği uyarınca, tüm belediyeler 2022 yılına kadar kendi atıksu arıtma tesis (AAT)'lerini yapmak zorundadır. Bu maddeye göre arıtma tesislerinin artması, arıtma prosesi sonucunda oluşan arıtma çamurlarının da paralel olarak artacağı anlamına gelmektedir. Arıtma çamurları, kentsel atıksu arıtma tesislerinde ön çöktürme tankı ve biyolojik arıtma sonucunda son çöktürme tankında oluşan içeriğinde organik madde ve biyolojik aktivitenin yüksek olduğu bir üründür. Bu çamurlar, bünyelerinde yüksek miktarda organik madde, patojen mikroorganizma ve atıksuyun kaynağına göre farklı kirleticiler (ağır metaller vb.) içermektedir.

Arıtma işlemlerinde kullanılan ön çöktürme, kimyasal çöktürme ve biyolojik çöktürme kademeleri farklı özelliklerde ve kalitede atık çamur oluşturmaktadır. Oluşan çamurun atıksu arıtma tesisinden alınması ve uygun tekniklerle zararsız hale getirilerek uzaklaştırılması gerekmektedir (www.bcm.org.tr, 2008).

Arıtma çamurları, zararsız hale getirilmek için stabilizasyon işlemine tabi tutulur ve içeriğinde bulunan mevcut suyun azaltılması için yoğunlaştırma ve susuzlaştırma prosesleri uygulanmaktadır. Ancak stabilize olduktan ve susuzlaştırıldıktan sonra, tarımda kullanım, yakma ve düzenli depolama alanlarında bertaraf edilebilmektedir. Ayrıca, arıtma çamurlarının tarımda kullanılabilmesi için Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (2005)'nde ve düzenli depolama alanlarında depolanabilmeleri için ise Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2005)'nde verilen sınır değerleri aşmaması gerekmektedir.

Kirletici potansiyeli yüksek olan arıtma çamurları bünyelerindeki yüksek organikler nedeni ile büyük kirletici potansiyeline sahiptir. Çamurun içindeki biyokimyasal süreçleri ve çevresel etkiler sebebi ile bünyelerindeki kirleticileri (organik madde vb.) su ortamına sızıntı suyu ile geçirerek kirlenmeyi başka bir boyuta taşımaktadır. Atık çamurlar katı atık depolama alanında bertaraf edilmesi durumunda sızıntı sularının karakterini etkilemektedir.

Sızıntı suyunun karakteristiğini belirlemek zordur çünkü sızıntı suyu içeriği ve konsantrasyonu, atığın karakteristiği, düzenli depolamanın yaşı, jeoloji, sıcaklık ve su muhtevasına bağlıdır. Genellikle sızıntı suyunun, KOİ, BOİ, amonyak ve bazen de metal ve tehlikeli organik kimyasallar gibi yüksek konsantrasyonlarda organik ve inorganik kirletici içerdiği kabul edilir (Chen ve diğ., 2008). Düzenli depolama alanları ile ilgili tercihler yapılırken en iyi yerleşim koşullarında ve en iyi işletme koşullarında bile toprak kirliliği olması muhtemeldir. Eğer çamur tehlikeli madde özelliği gösteriyorsa muhtemel yeraltı suyu ve toprak kirliliği nedeniyle bu yöntem seçilmemelidir. Çamurun katı atık depolama alanlarında bertarafı için çamurların su muhtevası %65 (Katı madde muhtevası %35) ve altında tutulmalıdır (www.bcm.org.tr, 2008).

Katı atık depolama sahalarındaki sızıntı suyu miktarı; depolanan katı atığın nem içeriği, nihai üst örtü tabakasının geçirimsizlik derecesi, iklim şartları, yüzey suyu denetimi ve depo yaşı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Sızıntı suyunun yüksek miktarda oksijen ihtiyacı ve ağır metal içeriği, uzun vadede alıcı ortamın kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu sorunlar alıcı ortamda anoksik ve anaerobik durumların oluşmasına, balıkların ölmesine ya da kirliliğe maruz kalmasına, alıcı ortamın su temini için kullanılması durumunda kalitenin bozulmasına neden olur. Dolayısıyla, sızıntı suyu öncelikle yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarına karışmadan toplanmalı ve uygun arıtma yöntemleri ile arıtılmalıdır. Sızıntı suları yüksek organik madde konsantrasyonu ile karakterize edilmekte ve bu fazda BOİ/KOİ oranı genellikle 0,4–0,5 civarında veya daha yüksek bir değer almaktadır. Metan fazındaki sızıntı sularının organik madde konsantrasyonu daha düşüktür. Diğer bir ifadeyle yaşlı depolama alanlarından çıkan sızıntı sularında BOİ/KOİ oranı 0.1-0.3 veya daha düşük değerlere inmektedir (Apaydın ve diğ., 2007).

## **1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi**

Atıksuların arıtılmasında biyolojik arıtmanın gerekliliğinden dolayı büyük miktarlarda arıtma çamurları çıkmaktadır. Avrupa Birliği (AB) uyum sürecinde AB yönetmeliklerindeki çıkış suyu kriterlerinin sağlanması için karbonun yanında azot ve fosfor gideren arıtma proseslerinin kullanılması gerektiği görülmektedir (KAAY, 2006). Bu durumda, arıtma çamuru miktarlarının büyük oranda arttığı da göz önünde tutulmalıdır. Atık arıtma çamurlarının miktarlarının artması günümüzde çok ciddi

çevresel problemler oluşturmaktadır. Bu çamurlar uzaklaştırılmadan önce çeşitli arıtma prosesleri uygulanmalıdır. Arıtma bertaraf aşamasında, yakma prosesine tabi tutulabilir, tarımda kullanılabilir ve düzenli depolama alanlarına bertaraf edilebilir. Çamurların bu metotlarla bertaraf edilebilmesi için bazı şartların sağlanması gerekmektedir. Arıtma çamurları, tarım arazilerinde kullanılacaksa Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (TKKY) 2005 Ek 1B' de yer alan ağır metal kriterlerine uygunluk göstermelidir. Eğer çamur, düzenli depolama ile bertaraf edilecekse Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) 2005 Ek 11A'da yer alan sızıntı suyundaki çözülmüş organik karbon (ÇOK) ve çamur kekindeki toplam organik karbon (TOK) parametrelerinin sınır değerleri aşılmamalıdır.

Eğer arıtma çamurları yakma metodu ile bertaraf edilecek ise stabilizasyon prosesine gerek yoktur, sadece susuzlaştırılması yeterlidir. Öte yandan, çamur tarımda veya düzenli depolama ile bertaraf edilecekse kokunun ve patojen mikroorganizmaların kontrol edilebilmesi için de stabilize edilmesi gerekmektedir (Qasim, 1999).

Katı atıkların düzenli depolanmasında ortaya çıkan önemli sorunlardan biri katı atıklardan sızarak tabana ulaşan ve yüksek miktarda kirlilik içeren sızıntı sulardır. Bu sular çevresel faktörlerin etkisiyle atığın bünyesindeki nemin depolama alanlarında toprağa sızmasıyla oluşmaktadır. Sızıntı suyunda yer alan yüksek miktarlardaki kirleticiler alıcı ortamın kalitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Öte yandan sızıntı sularını toplayan depolama alanlarında uygulanacak arıtma alternatifleri de oluşan sızıntı suyu karakterini etkilemektedir. Dolayısıyla, sızıntı suyu öncelikle yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarına karışmadan toplanmalı ve uygun arıtma yöntemleri ile arıtılmalıdır (Apaydın ve diğ., 2007).

Arıtma çamurlarının katı atık depolama alanlarına bertaraf edilmesi ile oluşan sızıntı suyunun içeriğini oluşturan yüksek konsantrasyonlardaki KOİ, BOİ, amonyak, ağır metal ve tehlikeli organik kimyasallar ortamlarda ciddi tehlikeler oluştururlar. Kentsel arıtma çamurları hakkında halihazırda yürürlükte olan yönetmelikler incelendiğinde, arıtma çamurlarının toplam ve çözülmüş organik karbon parametrelerinin (TOK/ÇOK) bu yönetmeliklerde yer alan sınır değerleri sağlayamadığı görülmektedir.

## 1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, kentsel atıksu arıtma tesislerine ait susuzlaştırılmış arıtma çamurlarından kaynaklanan sızıntı suyunun organik madde içeriğinin araştırılmasıdır. Sözü edilen amaç çerçevesinde, bu çalışma kapsamında arıtma tesislerinden kaynaklanan çamur sızıntı suyundaki organik madde içeriğinin araştırılması, çözülmüş özellikteki organik maddenin ayrışabilirlik niteliği ve ayrışma kinetiğinin değişimi, arıtma tesisinin işletme düzeninin organik madde bileşimine ve seviyesine etkisi, stabilize olmuş arıtma çamurunun çamur kekinde reaksiyonlarının devam edip etmediği, ortaya çıkan süzüntü suyundaki kirletici karakterinin niteliğinin arıtma prosesi ile ilişkisi araştırılmıştır.

Ayrıca, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği' ne göre öncelikle süzüntü suyunun çözülmüş Organik Karbon (ÇOK) parametresi, eğer ÇOK parametresi kriterleri sağlamıyorsa kek'te TOK parametresinin uygunluğu ve respirometrik değerlendirmeler yer almaktadır.



## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

### 2.1 Arıtma Çamuru Tanımı

Atıksulara fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemleri uygulanması sonucunda oluşan, sıvı ya da yarı katı halde, uygulanan arıtma prosesine bağlı olarak ağırlıkça %0,25 - % 12 katı madde içeren atıklar arıtma çamuru olarak nitelendirilmektedir. Su Çevre Federasyonu (Water Environment Federation, WEF)' na göre arıtma çamurları, stabilizasyon ve kompostlaştırma gibi işlemler sonucunda faydalı olabilecek ürünlere dönüştürülen atıksu katıları olarak da nitelendirilebilir (Metcalf ve Eddy, 2003). Şekil 2.1 ve Şekil 2.2' de arıtma çamurlarının hangi arıtma prosesleri sonucunda oluşabileceği ve Çizelge 2.1' de bu çamurlara ait özellikler özetlenmektedir.

Birincil arıtma, çökebilen katılar ve gres-köpük karışımının giderimi için ağırlıklı çökmesine dayanır. Gres ve köpüğün miktarı küçüktür ve genelde yakılmakta ve düzenli depolama alanlarına bertaraf edilmektedir. Ön çöktürme tankında üretilen bu çamurlar, birincil çamur olarak bilinir ve organik içeriği yüksektir ve patojenik yapıdadır. Kötü kokuludur, estetik açıdan istenmeyen ve tehlikeli katı maddeler içermektedir. Atıksudaki birçok patojenik organizma katı partiküllere tutunurlar ve birincil çamur, bilinen bütün patojenleri içermektedir (Spinoza ve Vesilind, 2001). Birincil çamur dediğimiz atıksu arıtma tesislerinin ön çökeltme tankından çıkan çamurlar % 60-70 oranında uçucu askıda katı madde (UAKM) içermektedirler ve katı madde muhtevaları % 4-8 arasında değişmektedir (Metcalf ve Eddy, 2003; Qasim, 1999).

En çok bilinen ikincil arıtma metodu, aktif çamur prosesidir. Bu proseste, organik madde giderimi için (KOİ), bakteriyel çoğalma işlemi sonucunda biyolojik çamur oluşmaktadır. Malesef bu proses, büyük oranda atılması gereken biyokütle üretir. İkincil çamur, birincil çamurdan büyük ölçüde farklıdır ve karışık bakteri kültürüne sahiptir. Atık aktif çamur, susuzlaştırmak için en zor çamurdur çünkü başlangıçta su muhtevası (%99) yüksektir ve hücrenin bünyesinde fazla tutulan hücre dışı polimerik

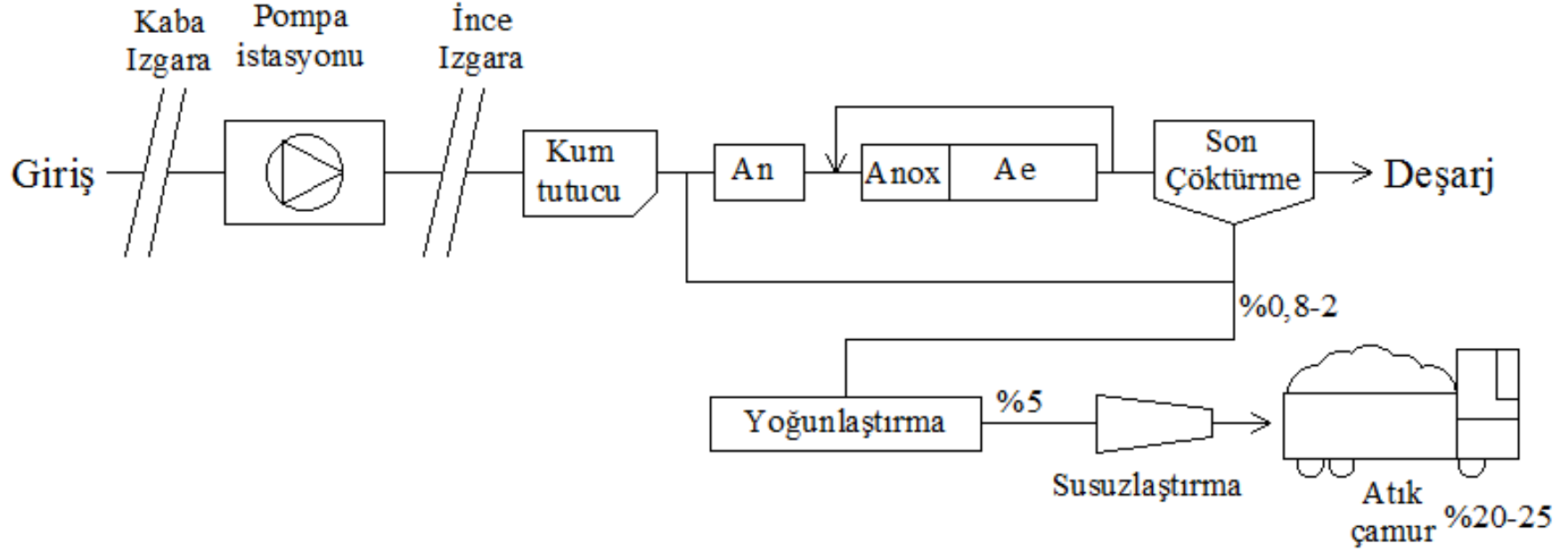
bileşiklere (Exocellular Polymeric Substances, EPS) sahip olabilmektedir. Bu durum ve çamurdaki su kimyasal ve fiziksel anlamda aktif çamur tarafından sağlanan yüzey alanına tutunmaktadır. İkincil çamur, birincil çamurda bulunan patojen konsantrasyonuna sahip değildir fakat susuzlaştırmak için yetersiz olması ve hücre duvarının parçalanması zor olduğu için yüksek konsantrasyondaki uçucu katılar atık aktif çamurun arıtılmasını zorlaştırmaktadır (Spinoza ve Vesilind, 2001). Bu tipteki çamurlar, eğer biyolojik arıtma klasik bir aktif çamur sistemi ise karbon içermektedir, eğer sistem aktif çamur sisteminin yanında nitrifikasyon ve denitrifikasyon sistemlerine sahip ise, çamur karbon ile beraber fosfor da içermektedir. Bu tipteki çamurlar %70-80 aralığında UAKM içerirler ve Şekil 2.1' de gösterildiği gibi katı madde muhtevaları %0,8-2,0 aralığında değişmektedir (Metcalf ve Eddy, 2003; Qasim, 1999).

Şekil 2.1' de biyolojik azot ve fosfor giderimi yapan bir atıksu arıtma tesisinin akım şeması verilmiştir, Şekil 2.1'de, ön çökeltim tankından çıkan çamurun katı madde muhtevalarının %4-8 aralığında değiştiği, biyolojik azot fosfor giderimi sonucu oluşan çamurun katı madde muhtevalarının %0,8-2 arasında olduğu belirtilmektedir. Bu iki çamur çeşidi farklı proseslerle yoğunlaştırıldıktan sonra anaerobik çürütücü öncesinde katı muhtevaları %6 ve anaerobik çürütücü sonrasında katı madde muhtevaları %4 tür. Son işlem olarak %4 katı muhtevaları içeren bir çamurun santrifüj yoğunlaştırma ile katı muhtevaları %20-25 aralığına çıkarılabilmektedir.

Şekil 2.2' de uzun havalandırılmalı bir aktif çamur sisteminin akım şeması yer almaktadır. Ön çöktürme prosesinin olmadığı bir sistemdir. Aktif çamur sonrası son çöktürme tankından çıkan çamurun katı muhtevaları %0,8-2 aralığındadır, bu çamur yoğunlaştırıldıktan sonra katı muhtevaları %5 seviyelerine çıkmaktadır. Son işlem olarak %5 lik çamur santrifüj susuzlaştırma ile %20-25 katı muhtevaları olacak şekilde susuzlaştırılabilmektedir.

Çizelge 2.1' de gösterildiği gibi, damlatılmalı filtrelerden çıkan çamurlar % 65-70 aralığında UAKM içermekte olup ve katı madde muhtevaları %2-4 aralığında değişmektedir. Kimyasal çamurlar, ön çökeltme tanklarında fosfor giderimi için atıksuya kimyasal ilavesi ile oluşur. Eklenen kimyasallar demir ve kireç ilavesi şeklindedir ve %2-8 katı muhtevalarına sahiptir (Metcalf ve Eddy, 2003; Qasim, 1999).





Şekil 2.2 : Uzun havalandırmalı biyolojik azot fosfor giderimi akım şeması

2005 yılında Envest'in yapmış olduğu bir araştırmaya göre, Türkiye de oluşan toplam arıtma çamuru miktarı, Şekil 2.3 de de belirtildiği gibi, toplam 1.130 milyon ton/yıl olarak ifade edilmiştir (Envest, 2005). Avrupa' ya göre, Türkiye, batı, iç ve doğu olmak üzere 3 bölgeye ayrılmış ve toplam çamurun %45' inin batıda, %46 sı iç bölgelerde ve %9' unun da Türkiye' nin doğusunda oluştuğu belirtilmiştir.

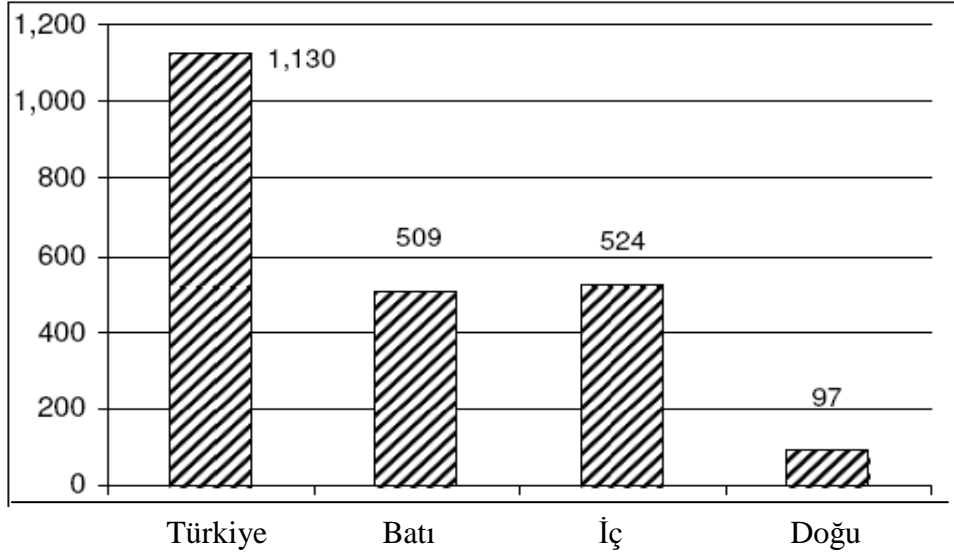
**Çizelge 2.1 : Arıtma çamurlarının kaynakları ve özellikleri (Metcalf ve Eddy, 2003; Qasim, 1999)**

<b>Çamur Kaynakları</b>	<b>Çamurun Özellikleri</b>	<b>KM %</b>
Birincil arıtma çamuru	Atıksu arıtma tesislerinde ön çökeltme tanklarından çıkmaktadır. % 60-70 arasında uçucu askıda katı madde içermektedir. Aerobik ve anaerobik çürütücülerde kolaylıkla çürütülebilmektedir.	4-8
İkinci arıtma çamuru	Atıksu arıtma tesislerinde biyolojik (karbon, karbon + azot + fosfor) arıtma tanklarından çıkmaktadır. % 70-80 arasında uçucu askıda katı madde içermektedir. Aerobik ve anaerobik çürütücülerde kolaylıkla çürütülebilmektedir.	0.8-2.0
Damlatmalı filtre çamuru	Damlatmalı filtrelerden çıkan humus şeklindeki çamurdur. % 60-75 arasında uçucu askıda katı madde içermektedir. Kolaylıkla çürütülebilmektedir.	2-4
Kimyasal çamur	Ön çökeltme tankına fosfor giderimi için kimyasal ilavesi ile oluşur.	2-8

1992 yılında oluşturulan bir araştırmanın verilerine göre, Avrupada yılda 2,6 milyon ton çamur keki düzenli depolama ile bertaraf edilmiştir. Tarım alanlarında, yılda 2,37 milyon ton çamur keki kullanılmıştır (Spinoza ve Vesilind, 2001). Fytli ve diğ., (2008) yaptıkları çalışmada Avrupa' da birincil, ikincil ve üçüncül arıtma sonucu oluşan arıtma çamurunun kuru ağırlık olarak, günde kişi başına 90 gram olduğunu belirtmişlerdir. Avrupa'da mevcut bulunan arıtma tesisi sayısının Türkiye'den fazla olması yılda çıkan toplam çamur miktarının da fazla olmasını açıklamaktadır.

Amerikada atıksu arıtma tesislerinde günde kişi başına 80 g kuru madde çamur üretiminin umulduğu raporlanmıştır. 1998'de Amerika'da düzenli depolama ile

bertaraf edilen çamur miktarı yılda 1,2 milyon ton olarak belirlenmiştir, ayrıca yılda 2,8 milyon ton çamur keki tarımda kullanılmıştır ve diğer amaçlar için kullanılan çamur keki miktarı 0,5 milyon ton olarak rapor edilmiştir (Spinoza ve Vesilind, 2001).



**Şekil 2.3 :** Türkiye’de bölgeler bazında üretilen toplam çamur miktarı, 2005 (1000 ton/yıl)

Çıkan çamur hacimce büyük olup, işlenmesi ve bertarafı atık arıtma alanında oldukça karmaşık bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin farklı etkiler göstermesinin sebepleri

- Biyolojik arıtmada oluşan ve uzaklaştırılması gereken çamurun, ham atıksu içerisindeki organik yapıda, reaksiyon eğiliminde olması,
  - Çamurun sadece küçük bir kısmının katı madde, büyük bir kısmının ise sudan oluşması, bu yüzden büyük hacimler işgal etmesi
  - Çamurun yüksek miktarda su tutma özelliğinde olması,
- olarak özetlenebilmektedir.

Arıtma tesislerine göre de arıtma çamurları farklılık göstermektedir. Bunlar;

- Kentsel atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamurlar (evsel veya evsel + endüstriyel)
- Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamurlar
- İçme suyu arıtma tesislerinden çıkan çamurlar

olarak sıralanabilir (Przewrocki ve diğ., 2003).

## 2.2 Arıtma Çamurlarına Uygulanan İşlemler

Arıtma tesislerindeki prosesler sonucu oluşan arıtma çamurları içerdikleri su muhtevası sebebiyle uygulanacak geri kullanım ve bertaraf prosesleri açısından önem taşımaktadır (Metcalf ve Eddy, 2003).

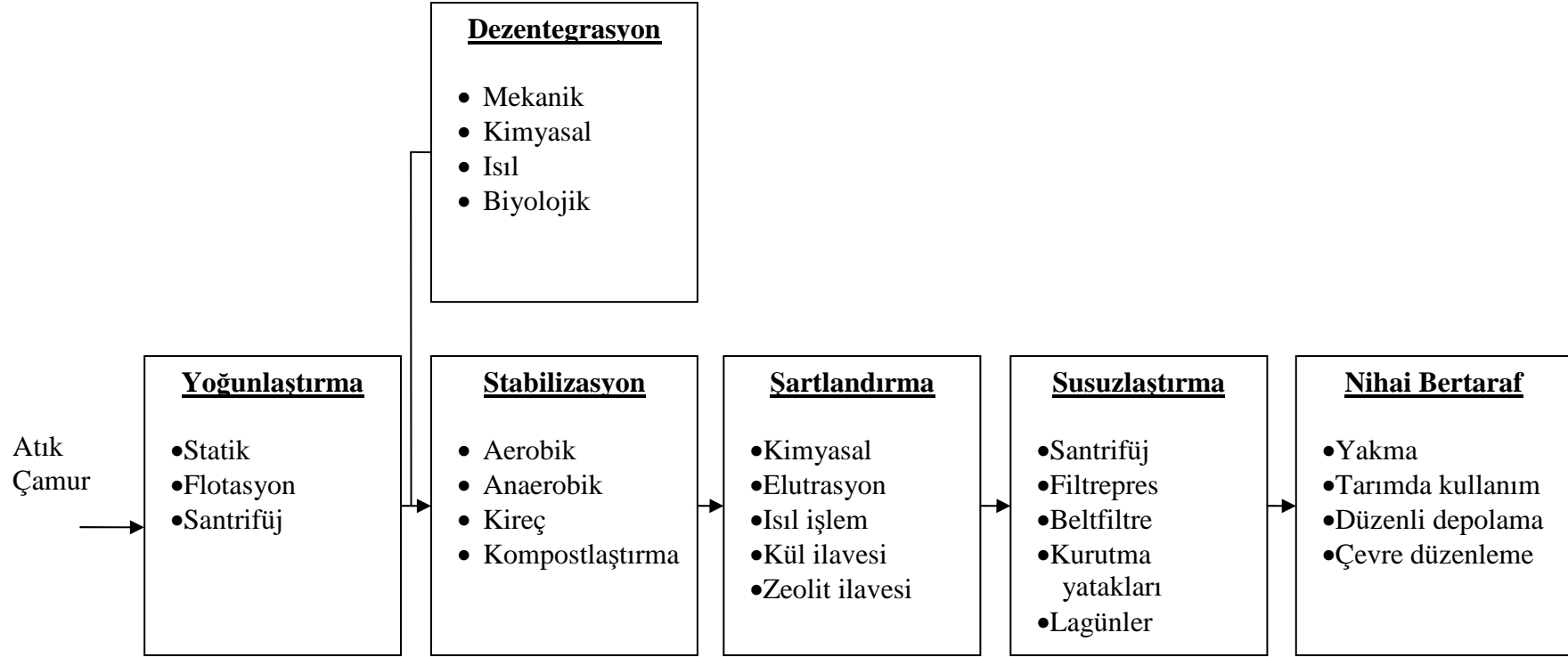
Atıksu arıtma tesisinde üretilen çamuru arıtmak ya da bertaraf etmek için, çamurun karakteristiğinin bilinmesi gerekmektedir. Birincil arıtma sonucu oluşan çamur çökelebilen katıları, ikincil arıtma sonucu oluşan çamur çökelebilen katıların yanı sıra biyokütleyi, ileri arıtma sonucu oluşan çamur, dayanıklı virüsler, fosfor ve azot içermektedir (Fytili ve diğ., 2008).

Arıtma çamurlarına uygulanan proseslerin başlıca amaçları, atığın su muhtevası ve organik içeriğini azaltmak, nihai bertaraf için uygun çamur karakterizasyonu elde etmek olarak sıralanabilir (Metcalf ve Eddy, 2003).

Arıtma tesislerinden çıkan çamurlar için uygulanan temel işlemler Şekil 2.4'de özetlenmektedir. Yoğunlaştırma, çamurun içindeki su muhtevasının azaltılarak hacminin azaltılması işlemine dayanmaktadır. Stabilizasyon, aerobik, anaerobik ortamda veya kireç ilavesi prosesleri ile TOK, ÇOK ve KOİ gibi organik madde içeriğinin azaltılması olarak tanımlanmaktadır. Susuzlaştırma, nihai bertaraf öncesinde su içeriğinin mümkün olduğunca azaltılması olarak nitelendirilmektedir. Dezentegrasyon, stabilizasyon sonucunda elde edilen ortalama %30-40 organik madde giderim seviyesini daha da arttırmak için kullanılan bir stabilizasyona yardımcı prosesidir. Ancak maliyetli olması sebebi ile günümüzde tercih edilmemektedir. Yoğunlaştırma, stabilizasyon ve susuzlaştırma prosesinde verim ne kadar yüksek olursa, hacim ve kütlede de o kadar azalma meydana gelmektedir, bunun sonucunda da ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşmektedir.

Nihai bertaraf öncesinde arıtma çamurları içerisindeki fazla suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. Suyu alınan çamurun hacmi başlangıç hacmine oranla önemli ölçüde azalır.

Çizelge 2.2' de arıtma çamuruna uygulanan işlemler sonunda çamurun içerdiği katı muhtevaları gösterilmektedir.



Şekil 2.4 : Arıtma çamurlarına uygulanan temel işlemler (Qasim, 1999)



### 2.2.1 Yoğunlaştırma

Birincil, damlatmalı filtre ve aktif çamurun katı içeriği, çamurun karakterine, çamur giderimine ve arıtma tesisi işletme dönemine bağlı olarak değişmektedir (Metcalf ve Eddy, 2003). Çamur, büyük hacimlerde su bünyesinde barındırmaktadır. Yoğunlaştırma işlemi, katıları daha konsantre hale getirmek ve hacmi düşürmek için uygulanır. Yoğunlaşmış çamur, stabilizasyon için daha az tank kapasitesine, daha az kimyasal maddeye, taşıma için küçük pompalama ekipmanlarına ihtiyaç duymaktadır (Qasim, 1999). Yoğunlaştırma çamurun katı içeriğini arttırmak için, sıvı bileşenin ayrılması işlemine dayanır (Metcalf ve Eddy, 2003).

Statik yoğunlaştırma sonrasında katı madde muhtevası Çizelge 2.2' de gösterildiği gibi atık aktif çamur için % 4 seviyesine, mekanik yoğunlaştırma da ise atık aktif çamur katı muhtevası %5 seviyesine kadar çıkabilmektedir.

Yoğunlaştırma işlemi çöktürme, yüzdürme ve santrifüj gibi metotlarla yapılabilmektedir. Yoğunlaşan çamurun hacmi azalmakta olup stabilizasyon için gerekli hacim ve buna paralel susuzlaştırma maliyeti azaltılabilir. Çamur yoğunlaştırma prosesinin projelendirmesinde çamurun tipi, yoğunlaştırılacak çamurun konsantrasyonu, stabilitesi, kimyasal arıtma ihtiyacı, yoğunlaştırılmış çamurun pompalanması, ilk yatırım ve işletme maliyeti, kesikli veya sürekli bir sistem olup olmadığı dikkate alınmalıdır (<http://www.bcm.org.tr>). Yoğunlaştırma işleminde ulaşılan katı madde konsantrasyonu % 15'den azdır, dolayısıyla çamur hala akışkandır ve pompalanabilir özelliktedir (Qasim, 1999). Orta ve büyük ölçekli atıksu arıtma tesisleri (AAT) için, çamur yoğunlaştırmada en çok kullanılan metotlar;

- Statik yoğunlaştırma
- Flotasyon yoğunlaştırma
- Santrifüj olarak sıralanabilir (Qasim, 1999).

### 2.2.2 Stabilizasyon

Çamur stabilizasyonunun birincil amacı, patojenlerin azaltılması, istenmeyen kokunun giderilmesi, ve organik maddenin çürüme potansiyelinin kontrol edilmesi olarak sıralanabilir. Çamur stabilizasyonu biyolojik, kimyasal ve fiziksel olarak yapılabilmektedir. Seçilecek stabilizasyon metodu, nihai bertaraf metoduna bağlıdır (Qasim, 1999).

**Çizelge 2.2 :** Çeşitli arıtma prosesleri sonrasında meydana gelen arıtma çamurlarının katı madde yüzdeleri (Metcalf ve Eddy, 2003)

Prosesler	Katı madde muhtevası, %	
	Aralık değeri	Tipik değer
<b>Statik yoğunlaştırma sonrası</b>		
Ön çökeltme çamuru	5-10	8
Ön çökeltme ve aktif çamur	2-8	4
Ön çökeltme ve damlatmalı filtre çamuru	4-9	5
<b>Çözünmüş hava flotasyonu sonrası</b>		
Atık aktif çamur (Polimer ilaveli)	4-6	5
Atık aktif çamur (Polimer ilavesiz)	3-5	4
<b>Santrifüj yoğunlaştırıcı sonrası (sadece atık aktif çamur)</b>	4-8	5
<b>Anaerobik çürütücü sonrası</b>		
Ön çökeltme çamuru	2-5	4
Ön çökeltme ve aktif çamur	1.5-4	2.5
Ön çökeltme ve damlatmalı filtre çamuru	2-4	3
<b>Aerobik çürütücü sonrası</b>		
Ön çökeltme çamuru	2.5-7	3.5
Ön çökeltme ve aktif çamur	1.5-4	2.5
Ön çökeltme ve damlatmalı filtre çamuru	0.8-2.5	1.3

Stabilizasyon prosesinde;

Uçucu bileşikler biyolojik parçalanır, uçucu bileşikler kimyasal oksidasyona uğrar, ısı uygulaması ile çamur sterilize edilir.

Çamur arazide kullanılacak ise, patojen giderimi bilhassa önemlidir. Çamur stabilizasyonunda kullanılan başlıca teknolojiler;

- Aerobik çürütme
- Anaerobik çürütme
- Kireç stabilizasyonu
- Kompostlaştırma olarak sıralanabilir (Filibeli, 1998).

Stabilizasyon yöntemleri aşağıda özetlenmektedir.

### **2.2.2.1 Aerobik stabilizasyon**

Çeşitli arıtma işlemlerinden gelen organik çamurların biyolojik stabilizasyonu için kullanılan bir prosestir. Atık aktif çamur ve ön çökeltim çamuru karışımları, ön çökeltimi olmayan aktif çamur tesislerinden gelen atık çamurların stabilizasyonunda kullanılabilir (Filibeli,1998).

Aerobik çürümeye, biyolojik çamur içsel solunum fazında kendini parçalamaktadır. Bu işlemde, oksijen gereksinimi vardır. Giderilen organik madde fraksiyonlarından bir kısmı yeni biyokütle oluşumunda kullanılırken geri kalan kısmı karbondioksit, su, çözülmüş ve partiküler inert maddeye okside olur. Aerobik çürümeye, ayrışabilir organik maddenin doğrudan oksidasyonu ve biyokütlenin oksitlendiği içsel solunum olmak üzere iki adımdan oluşur (Zupančič ve diğ., 2007).

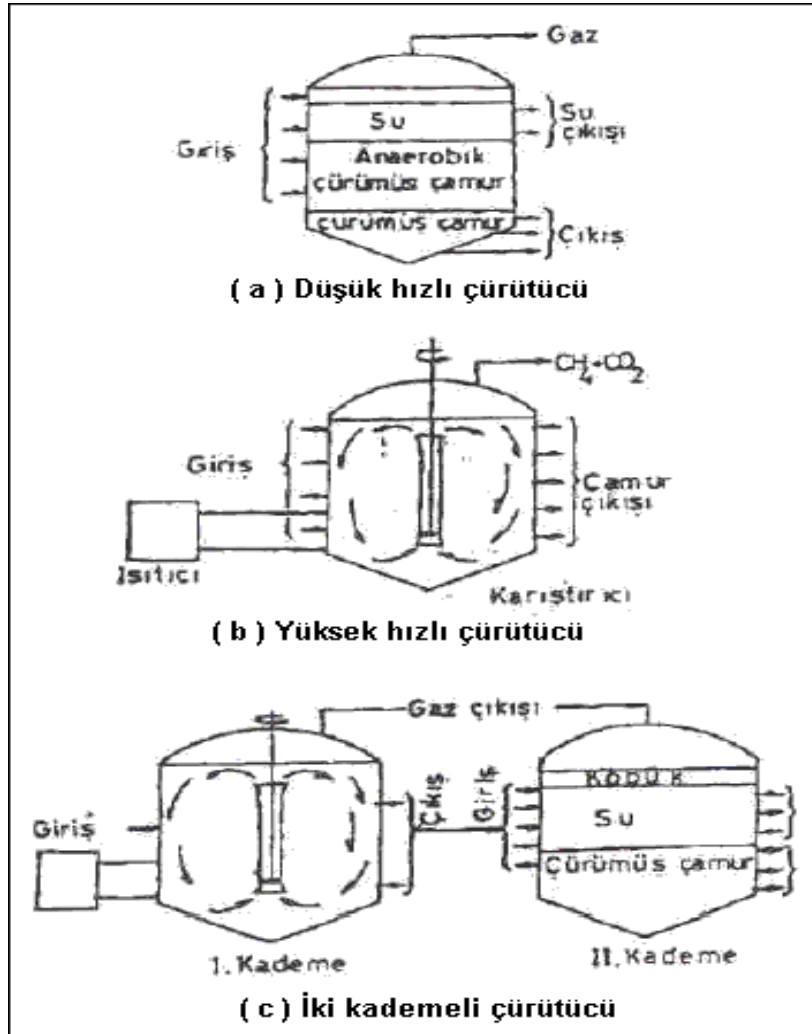
İlk olarak, organik maddeler oksitlenir, böylece biyokütle oluşur ve karbondioksit ve su açığa çıkar. Substrat tükendiği zaman, biyokütle bünyesindeki oksijen ile oksitlenir ve çürümüş çamur oluşur. Bu adım içsel solunum prosesi ile aynıdır (Zupančič ve diğ., 2007).

Aerobik çürütmenin, amacı nihai bertaraf için katı madde miktarını azaltmaktır. Bu azalışın sadece biyolojik olarak ayrışabilir içerikte olduğu düşünülmesine rağmen organik olmayan kısımlardada azalış olmaktadır. Aerobik çürütmede uçucu katı madde giderimi %35-50 arasında değişmektedir. Çizelge 2.2' de gösterildiği gibi katı

madde muhtevası %2.5 mertebesinde olmaktadır. Aerobik çürütücülerin ilk yatırım maliyetleri düşük olmakla beraber, oksijen gereksinimi dolayısıyla işletme maliyetleri oldukça yüksektir (Metcalf ve Eddy, 2003).

### 2.2.2.2 Anaerobik stabilizasyon

Anaerobik çürütme, anaerobik mikroorganizmaların metan ve karbondioksit üreterek organik maddeyi stabilize etme aynı zamanda enerji elde etme işlemidir (Qasim, 1999). Anaerobik çürütmenin birincil amacı, organik bileşiklerin koku emisyonlarının ve patojenleri uzaklaştırılmasıdır (Tomei ve diğ., 2007). Anaerobik çürütme, oksijenin ve nitratın yokluğunda organik ve inorganik maddenin parçalaması prosesine dayanır. Anaerobik çürütme, kentsel atıksu arıtımı sırasında oluşan arıtma çamurlarının biyolojik stabilizasyonunda kullanılır (Öztürk, 2008).



Şekil 2.5 : Anaerobik çürütücü tipleri kesit görünüşü

Anaerobik arıtma sistemlerinde organik maddenin ayrışması 3 aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar, hidroliz, fermentasyon ve metan oluşumudur. Hidroliz prosesinde, kompleks yapılı partiküler maddeler fermentasyon bakterileri tarafından daha düşük moleküler ağırlıklı çözülmüş bileşiklere dönüştürülür. Fermentasyon prosesinde, çözülmüş bileşikler, fermentasyon bakterileri tarafından uçucu yağ asitleri, alkoller, laktik asit gibi basit yapılı organik bileşiklere ve karbondioksit gibi mineral bileşiklere dönüştürülür. Metan üretiminde, metan bakterileri, asetatı karbondioksit ve metan gazına dönüştürür (Öztürk, 2008).

Stabilizasyon derecesi uçucu katıların giderim yüzdesi ile belirlenir. Anaerobik çürütmede, uçucu katı giderimi, çamur bekletme süresi ile alakalıdır. Buna göre, 20 günlük bekletme süresinde %60 uçucu katı giderimi olduğu belirtilmektedir, ve Çizelge 2.2' de gösterildiği gibi anaerobik çürütme sonrasında katı madde muhtevası %2.5 olmaktadır (Metcalf ve Eddy, 2003).

### **2.2.2.3 Kireç stabilizasyonu**

Kireç stabilizasyonu prosesinde, kireç arıtılmamış çamura pH'ı 12 ve daha yükseğe çıkarmak için eklenmektedir. Dolayısı ile gerekli tesir zamanı sağlandıktan sonra patojenler ve mikroorganizma reaksiyonları engellenir, mikroorganizmalar aktivasyonunu kaybeder. Uygun bir şekilde stabilize olmuş çamurda çürüme ve koku oluşmaz (Lue-Hing ve diğ., 1992). Çamurun kireçle stabilizasyonu için iki yöntem kullanılmaktadır:

- Yoğunlaştırma sonrası çamura kireç ilavesi
- Susuzlaştırma sonrası çamura kireç ilavesi

Kireç stabilizasyonu için sönmüş kireç ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), veya sönmemiş kireç ( $\text{CaO}$ ) kullanılabilir (Filibeli, 1998).

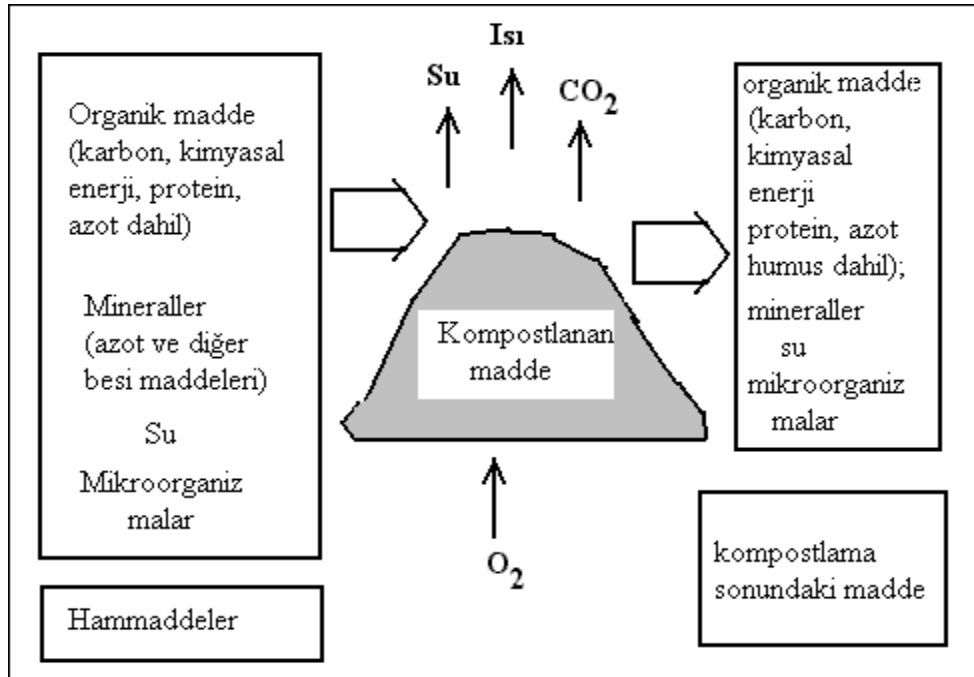
### **2.2.2.4 Kompostlaştırma**

Kompostlaştırma, çamuru dezenfekte eden ve toprak yardımcısı olarak kullanılabilen gübre tarzında bir ürün oluşturan biyolojik stabilizasyon prosesidir. Kompostlaştırma prosesi, başlangıç katı muhtevası % 40 olan çamurlar için uygundur (Tchobanoglous, 1998). Taze veya çürütülmüş arıtma çamurları; ağaç talaşı, saman, evsel çöp gibi organik karbon içeriği yüksek olan maddelerle karıştırılıp, su muhtevası azaltılıp

havalandırıldıklarında termolitik olarak ayrışmakta ve stabilize olmaktadır (SKKY Teknik Usuller Tebliği, 1991). Şekil 2.4' de kompostlaştırma mekanizması özetlenmiştir.

### 2.2.2.5 Stabilizasyona yardımcı prosesler

Birincil ve ikincil arıtma çamurlarında, stabilizasyon için anaerobik çürütmenin kullanımı çok yaygındır. Bu prosesin sonucunda, enerjiye dönüştürülebilen metan gazı üretilmektedir. Enerji geri kazanımını arttırmak için, daha yüksek verimli prosesler uygulamalı dolayısıyla bu durum ön arıtma teknolojilerinin gerekliliğini göstermektedir, çünkü arıtma metotları, substratın çözülebilirliğini ve ayrışabilirliğini iyileştiren stabilizasyon prosesinin verimini artırır. Dezentegrasyon prosesinde aktif çamurun flok yapısı değişir, bakteriyel hücreler yıkıma uğrar ve hücre içi maddeler bırakılır. Bu çözülmüş bileşikler, anaerobik çürütme prosesi ile kolayca ayrıştırılabilir. Ayrıca, atık aktif çamurun susuzlaştırma karakteri iyileştirilmektedir (Köktuna, 2008; Vlyssides ve Karlis, 2004).



Şekil 2.6 : Kompostlaştırma mekanizması

- **Mekanik dezentegrasyon**

Arıtma çamurunun mekanik dezentegrasyonundan sonra, anaerobik çürüme prosesindeki organik madde azalımı, yüksek seviyeye ulaşır, bu da mekanik dezentegrasyon prosesinin ileri çamur stabilizasyon prosesine olanak sağladığı anlamına gelmektedir. Anaerobik çürütme prosesinin hidroliz fazının hız sınırlayıcı adım olduğu kabul edilir. Mekanik dezentegrasyon metodunun uygulanması, anaerobik çürütme prosesini kuvvetlendirmektedir. Bu sayede, anaerobik çürütme reaktörünün çamur bekletme süresi azaltılabilir. Sonuç olarak, yatırım ve işletme maliyetini azaltan reaktörün hacmi azaltılabilir. İşletme maliyetleri, reaktördeki düşük ısı ihtiyacı ve karmaşık organik yapıların ayrışabilen düşük moleküler bileşenlere oksidasyonu ve dönüşümü sayesinde azaltılabilir. Bu bileşiklerin bozunması sırasında, daha yüksek biogaz verimi elde edilir ve biogazdan üretilen enerji artar. Ayrıca, kalan çamurun susuzlaştırma karakteri dezentegrasyon prosesi esnasında filamentli flokların parçalanmasıyla iyileşmektedir (Köktuna, 2008; Vranitzky ve Lahnsteiner, 2005).

- **Kimyasal dezentegrasyon**

Alkali koşullar, hidrolizin iyileştirilmesine ve yağların, karbonhidratların ve proteinlerin, alifatik asitler, polisakkaritler ve amino asitler gibi daha küçük ve çözülebilen moleküllere dönüşümüne olanak sağlar. Uygulanan alkali ön arıtma metotlarının yardımıyla, NaOH' un kirece göre daha yüksek çözebilirlik verimi olduğu belirlenmiştir. Arıtma çamurunun, NaOH ile alkali koşullarla anaerobik çürütülmesi sırasında, hidrolizin birinci kademesinde hız yüksektir, fakat hidrolizin ikinci kademesinde arıtma çamurunun katı madde içeriği tarafından oluşturulan KOİ' nin hidroliz hızı üzerinde NaOH' un çok az etkisi olmaktadır (Köktuna, 2008; Everett, 1973; Rajen ve diğ., 1989; Lin ve diğ., 1995; Huang ve Wei-Shiang, 1995; Yoshio ve diğ., 1997)

Fenton prosesi, hidrojen peroksidin oksitleyici etkisi ve demir klorür'ün katalizör etkisi altında gerçekleşen bir oksidasyon prosesidir. Bu prosesin uygulanma sonucunda, arıtma çamurlarının susuzlaştırılma özellikleri iyileştirilmektedir. Bununla beraber, Fenton prosesi, anaerobik çürütmeden önce ön arıtma metodu olarak kullanıldığı zaman, stabilizasyon derecesini ve dezentegrasyon derecesini

arttırmaktadır (Köktuna, 2008; Neyens ve diğ., 2003; Büyükkamacı, 2004; Dewil ve diğ., 2005; Filibeli ve Erden Kaynak, 2006).

- **Isıl Arıtma**

Isıl arıtma, kimyasal madde kullanılmaksızın katı maddenin suyunu verme özelliklerini geliştirerek çamurun şartlandırılmasıdır. Isıl işlem, kısa zaman aralıklarında 2760 kN/m<sup>2</sup> basınç altında ve 260°C üzerindeki sıcaklıklarda çamurun ısıtılmasıdır. Çamur, yüksek sıcaklık ve basınca maruz kaldığında, termal aktivite çamurdaki bağlı suyu açığa çıkarır katı maddelerin floklaşmasını sağlar (Filibeli, 1998). Isıl ön arıtma, çözülebilirlik seviyesini artırarak, arıtma çamurlarının içindeki partiküler maddelerin hidrolizini geliştirir. Bunun sonucu olarak, uçucu organik asitlerden kolayca metana dönüştürülen organik bileşikler üretirler. Isıl ön arıtma ile üretilen basınç değişikliklerine göre, bakteriyal hücreler yıkılır, böylece arıtma çamuru, bu ön arıtma metoduyla sterilize edilir ve arıtma çamurunun susuzlaştırılma karakteristikleri bu ön arıtma metoduyla iyileştirilebilir. Ek olarak, ısıl ön arıtma anaerobik çürütücü tarafından takip edildiği zaman, ısıl ön arıtmanın enerji gereksinimi, anaerobik çürütücüdeki biogaz üretiminden sağlanmaktadır. Bununla beraber, arıtma çamurunun viskozitesi ve süzülebilirliği ısıl işlemle etkilenir. (Köktuna, 2008; Haug ve diğ., 1978; Kepp ve diğ., 1999; Anderson ve diğ., 2002).

- **Biyolojik dezentegrasyon**

Hücre duvarının bileşenleri, enzim kataliz reaksiyonu sırasında enzimatik çözücülerle kırılmaktadır. Enzimler kullanılarak kuvvetli hücre duvarına sahip gram pozitif bakteriler dezentegre edilir, fakat bu metot yüksek maliyet açısından yaygın kullanılmamaktadır, fakat enzimatik çözücülerle mekanik dezentegrasyonun sonucunda enzim gibi hücre içi bileşenlerini salarak bozunmakta, böylece enzimler otoliz ile mekanik dezentegrasyondan sonra hücrenin ileri dezentegrasyonunu sağlamaktadırlar (Köktuna, 2008; Dohanyos ve diğ., 1997).

### **2.2.3 Susuzlaştırma**

Susuzlaştırma, atık çamurun su muhtevasının düşürüldüğü fiziksel bir temel işlemdir. Çamuru susuzlaştırmak için çeşitli işlemler ve ekipmanlar kullanılır. Susuzlaştırma, su içeriği azaldığı için taşımayı kolaylaştırır, depolama sorununu azaltır, düzenli depolama, kompost ve yakma prosesleri için uygun katı madde muhtevasını sağlar (Tchobanoglous, 1998).



Çamur susuzlaştırma metodunun seçimi, susuzlaştırılacak çamurun karakterine, çamur kekinin nihai depolanması için gerekli su muhtevasına ve taşıma maliyetine bağlıdır. Susuzlaştırma ekipmanının mevcut alanı yeterli ve çamur miktarı az ise doğal susuzlaştırma sistemleri daha uygundur. Bu sistemler, kurutma yatakları ve kurutma lagünleridir. Mekanik susuzlaştırma, genellikle büyük ölçekli kentsel atıksu arıtma tesisleri için kullanılmaktadır. En çok kullanılan mekanik susuzlaştırma metotları, vakum filtre, santrifüj, filter press ve beltfiltredir (Tchobanoglous, 1998 ve Qasim, 1999).

**Çizelge 2.3 :** Susuzlaştırma metotları sonucunda elde edilen katı madde muhtevalları (Metcalf ve Eddy, 2003).

<b>Yöntem</b>	<b>Katı madde muhtevası, %</b>
Kurutma yatakları	20-40
Lagünler	20-40
Santrifüj	20-25
Vakum filtre	18-25
Filtre press	40
Beltfiltre (anaerobik çürütme)	18-44
Beltfiltre (aerobik çürütme)	12-20

Çizelge 2.3’de susuzlaştırma metotlarının sonunda elde edilen katı madde muhtevalları verilmektedir. Buna göre, katı madde muhtevası, kurutma yataklarında kurutma sonucunda % 20-40 arasında, lagünler de kurutma sonucunda % 20-40, santrifüjle % 20-25, vakum filtre ile %18-25, filtre press ile % 40, anaerobik çürütme ardından beltfiltre ile %18-44 ve aerobik çürütme ardından beltfiltre ile %12-20 arasında değişmektedir.

Doğal kurutma yataklarına yalnız aerobik, anaerobik veya kimyasal olarak stabilize edilmiş arıtma çamurları verilebilmektedir. Aşırı koku sebebiyle, stabilize edilmemiş organik içerikli arıtma çamurlarının kurutma yataklarına ve çamur lagünlerine verilmeleri önerilmemektedir. (SKKY Teknik Usuller Tebliği, 1991).

Metot seçiminde çamurun özellikleri cinsi, ulaşılmak istenen katı madde konsantrasyonu, tesis kapasitesi ve kullanılan çamur şartlandırma maddelerinin cinsi ve miktarı etkili olmaktadır. (SKKY Teknik Usuller Tebliği, 1991).

#### **2.2.4 Şartlandırma**

Çamur şartlandırma, su içinde bulunan kolloidal veya partiküler haldeki askıda katı maddelerin üstüne, fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin etkisiyle oluşan elektriksel yükleri nötralize etmek veya kararsız hale getirmek demektir. Nihai bertaraf öncesinde çamurun içeriğindeki suyun uzaklaştırılması amacıyla uygulanan ve yoğunlaştırma veya susuzlaştırma işlemlerinde çamurun suyunu daha kolay vermesini sağlamak amacıyla uygulanır. Bu işlem sırasında küçük ve şekilsiz partiküller daha büyük ve parçalanması daha zor parçalar haline dönüştürülür. Bu şekilde sulu çamurdaki katı- sıvı faz ayrımı kolaylaşır (Lue-Hing, 1992).

Şartlandırma metotları kimyasal ve fiziksel olarak uygulanmaktadır. Kimyasal şartlandırma, birincil olarak vakum filtre, filtre press, belt filtre, ve santrifüj gibi mekanik çamur susuzlaştırma sistemleri ile uygulanır. Kimyasal şartlandırma organik ve inorganik kimyasallar ile sağlanır. Fiziksel şartlandırma metotları, elutrasyon ve termal şartlandırmayı içermektedir.

### **2.3 Nihai Bertaraf Yöntemleri**

Çamurun nihai bertaraf yöntemleri, yakma, tarımda kullanım ve düzenli depolama olarak tanımlanmaktadır. Bütün bertaraf metotlarında çamura bir proses uygulanması gerekmektedir. Yoğunlaştırma, stabilizasyon, şartlandırma ve susuzlaştırma gibi prosesler arıtma çamurunu nihai bertaraf için uygun hale getirmektedir (Qasim, 1999).

#### **2.3.1 Yakma**

Organik maddelerin tamamen yakılarak çamurun kurutulması işlemine dayanmaktadır. Baca emisyonlarında kokuyu önlemek için, sıcaklık minimum 700°C da tutulur (Qasim, 1999). Çamur, tek başına yakılabildiği gibi, evsel katı atıklarla beraber de yakılmaktadır. Piroliz ve oksidasyon kullanılan diğer tekniklerdir. Çamur yakma prosesi, sera gazları, partiküller, asit gazları, ağır metaller ve uçucu organik bileşiklerin emisyonlarının havaya yayılmasına neden olmaktadır. Emisyon

miktarları ve zararlılık derecesi, kullanılan yakma prosesine ve çamur karakteristiğine bağlı olmaktadır. Yakma prosesi, ses, toz, koku ve görsel kirlilik oluşturabilmektedir (Przewrocki ve diğ., 2003).

### **2.3.2 Tarımda kullanım**

Atık çamurun araziye uygulanması, bir çok ülkede eskiden beri kullanılmaktadır. Diğer bertaraf metotlarının maliyetlerinin fazla olması sebebiyle arazi uygulaması artmıştır. Küçük ölçekli işletmeler daha çok kullanmaktadır. Kullanılacak çamurun katı madde içeriği %40 olmalıdır (Qasim, 1999).

Çürütülmüş çamurun doğrudan bertarafı, susuzlaştırma maliyetlerini elimine etmek için bir avantaj olduğu gibi, çok büyük hacimlerdeki çamurun taşıma maliyetleri açısından da dezavantajdır. Susuzlaştırılmış çamur, serilerek çiftlik alanlarına, yaş çamur ise deri kuyuya enjeksiyon yoluyla bertaraf edilmektedir (Qasim, 1999).

Çamurun arazide kullanımı, toprak kalitesini, su tutma kapasitesini, havalanmasını, makro ve mikro nutrientlerin bitki bünyesinde tutulmasına yardımcı olmaktadır (Tchobanoglous, 1998) .

### **2.3.3. Düzenli depolama**

Ekonomik koşullar çerçevesinde, uygun bir arazinin varlığında ham veya çürütülmüş çamur düzenli depolanabilmektedir (Qasim, 1999). Depolanma, arıtma çamurlarının tek başına olabileceği gibi, evsel katı atıklarla beraber de olabilmektedir (Tchobanoglous, 1998). Arazi seçimi ve tasarım özellikleri, arazinin yerleşim alanlarına minimum uzaklıkta olmasını, sızıntı suyu önlemine, korozyon kontrolünü ve gaz çıkış önlemine gerektirmektedir. İyi dizayn edilmezse yeraltı ve yüzey suyu kirlenmesi açısından tehlike oluşturmaktadır.

Bütün çamurlar, koku ve operasyon problemleri yüzünden düzenli depolama için uygun değildir. Düzenli depolama alanının dizaynında çamurların su muhtevası ve kimyasal bileşimi önemlidir. Katı madde muhtevası % 15 olan çamurların düzenli depolanabilmeleri için içlerine kuru madde karıştırılması gereklidir. Eğer, çamur susuzlaştırma metotları gerekli katı madde muhtevasını sağlayamıyorsa düzenli depolama alanlarında işletme problemleri oluşmaktadır. Çürütülmemiş çamurlar, büyük miktarlarda metan gazı oluşumu ve patlama potansiyeli oluşturmaktadır.

Çamurun düzenli depolamaya uygunluğunu belirlemek için;

- Atıksuyun karakteristiği ve kaynağı
- Atıksu arıtma tesisi prosesleri
- Çamur yönetim ve bertaraf yöntemleri
- Ağır metal konsantrasyonları
- Çamurun organik içeriği
- Azot içerikleri dikkatle incelenmelidir (Qasim, 1999).

## **2.4 Arıtma Çamurlarının Yasal Mevzuattaki Yeri**

### **2.4.1 Türkiye' deki Durum**

Türkiye'deki arıtma çamurlarının bertarafı ile ilgili yönetmelikler Tehlikeli Atıkların Kontrol Yönetmeliği (TAKY) ve Toprak Kirliliğini Kontrol Yönetmeliği (TKKY) dir. TAKY, arıtma çamurlarının düzenli depolama alanlarına depolanabilme, TKKY ise arıtma çamurların tarımda kullanılabilirlik sınır değerlerini içermektedir.

TAKY, Avrupa Birliği (AB) direktifleri dikkate alınarak düzenlenmiştir. AB de bu yönetmeliğe karşı gelen yönetmelik Arıtma Çamur Direktifi (86/278/EEC)' dir. Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği'ne göre, arıtma çamurları tehlikeli atık sınıfına girmektedir (TAKY, 2005).

TAKY'nin amacı, tehlikeli atıkların, üretiminden nihai bertarafına kadar; çevreye uyumlu yönetiminin sağlanmasına, yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi için hukuki ve teknik esasları kapsamaktadır (TAKY, 2005).

Arıtma çamurlarının, değerlendirilmesi, düzenli depolanabilmesi veya çevreye zararsız hale getirilebilmesi için fiziksel, kimyasal veya biyolojik işlemlere tabi tutulmaları gerekmektedir.

TAKY Ek 11-A' da atıkların düzenli depolama alanlarında depolanabilmesi için gerekli sınır değerler bulunmaktadır. TAKY' ye göre, atıklar, inert atık, tehlikeli olmayan atık ve tehlikeli atık olmak üzere 3' e ayrılmaktadır. Ek 11-A Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5' de gösterilmektedir. Çizelge 2.4' de Katı özütleme deneyi (TS EN 12457:4, 2004)' ne tabi tutularak süzülen, eluat dediğimiz süzüntü suyu kriterleri yer almaktadır. Bir atığın tehlikeli olup olmadığının belirlenmesi için, sızıntı karakteri önem taşıdığından öncelikle TAKY (2005) Ek 11-A' da yer alan ÇOK parametresi'

**Çizelge 2.4 : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11 A, Atıkların düzenli depo tesislerinde depolanabilme kriterleri (Eluat kriterleri)**

<b>1.00</b>	<b>Eluat Kriterleri* L/S = 10 L/kg</b>	<b>İnert Atık olarak muamele görecekt atıklar (mg/L)</b>	<b>Tehlikesiz Atık olarak muamele görecekt atıklar (mg/L)</b>	<b>Tehlikeli Atık olarak muamele görecekt atıklar (mg/L)</b>
<b>1.01</b>	As (Arsenik)	≤ 0,05	0,05–0,2	< 0,2–2,5
<b>1.02</b>	Ba (Baryum)	≤ 2	2–10	< 10–30
<b>1.03</b>	Cd (Kadmiyum)	≤ 0,004	0,004 – 0,1	< 0,1–0,5
<b>1.04</b>	Cr toplam (Krom Toplam)	≤ 0,05	0,05–1	< 1 – 7
<b>1.05</b>	Cu (Bakır)	≤ 0,2	0,2 – 5	< 5 – 10
<b>1.06</b>	Hg (Civa)	≤ 0,001	0,001– 0,02	< 0,02– 0,2
<b>1.07</b>	Mo (molibden)	≤ 0,05	0,05 - 1	< 1 – 3
<b>1.08</b>	Ni (Nikel)	≤ 0,04	0,04 – 1	< 1 – 4
<b>1.09</b>	Pb (Kurşun)	≤ 0,05	0,05 – 1	< 1 – 5
<b>1.10</b>	Sb (Antimon)	≤ 0,006	0,006 -0,07	< 0,07 -0,5
<b>1.11</b>	Se (Selenyum)	≤ 0,01	0,01 – 0,05	< 0,05 – 0,7
<b>1.12</b>	Zn (Çinko)	≤ 0,4	0,4 -5	< 5 -20
<b>1.13</b>	Klorür	≤ 80	80 - 1500	< 1500 – 2500
<b>1.14</b>	Florür	≤ 1	42005	< 15 -50
<b>1.15</b>	Sülfat	≤ 100	100 – 2000	< 2000- 5000
<b>1.16</b>	<b>ÇOK (Çözünmüş Organik karbon)</b>	<b>≤ 50</b>	<b>50-80</b>	<b>&lt;80-100</b>
<b>1.17</b>	TÇM (Toplam çözünen katı)	≤400	400-6000	<6000-10000
<b>1.18</b>	Fenol İndeksi	≤ 0,1		

\*Katıdan özütlemeye tabi tutulan çamur kekinin gözenek çapı 0,45µm olan filtreden süzülerek elde edilen süzüntüsü

**Çizelge 2.5** : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11 A, Atıkların düzenli depo tesislerinde depolanabilme kriterleri (Orijinal atık kriterleri)

<b>2.00</b>	<b>Orijinal atıkta bakılacak kriterler</b>	<b>İnert Atık olarak muamele görececek atıklar (mg/kg)</b>	<b>Tehlikesiz Atık olarak muamele görececek atıklar (mg/kg)</b>	<b>Tehlikeli Atık olarak muamele görececek atıklar (mg/kg)</b>
<b>2.01</b>	<b>TOK (Toplam Organik Karbon)</b>	<b>≤30000 (%3)</b>	<b>50000 (% 5)- pH ≥ 6</b>	<b>60000 ( %6)</b>
<b>2.02</b>	BTEX (benzen, toluen, etilbenzen ve xylenes)	6		
<b>2.03</b>	PCBs	1		
<b>2.04</b>	Mineral yağ	500		
<b>2.05</b>	LOI (Kızdırma Kaybı)			10000 (% 10)

ne bakılmakta, daha sonra orijinal atıktaki TOK parametresi incelenmektedir. Bu çizelgeye göre, çözülmüş organik karbon (ÇOK) değerlerine baktığımızda bir atığın tehlikesiz atık olarak değerlendirilebilmesi için ÇOK değerinin 50–80 mgC/L aralığında olması gerekmektedir. Çizelge 2.5’ de tehlikeli atığın kendisine ait sınır değerler bulunmaktadır. Bu çizelgeye göre, arıtma tesislerinden çıkan çamur kekinin toplam organik karbon (TOK) parametresi 50000 mg/kg değerine eşit ya da küçük olmalıdır. TAKY (2005) Ek 11-A da belirtilen TOK ve ÇOK parametrelerinin kriterleri sağlandığı takdirde atıklar düzenli depolama ile bertaraf edilebilmektedirler.

Türkiye’de arıtma çamurlarının tarım arazisinde kullanılması için Toprak Kirliliğini Kontrol Yönetmeliği (TKKY, 2005) kullanılmaktadır. Evsel ve kentsel atıksuların arıtılması ile oluşan arıtma çamurlarının toprağa zarar vermeden tarımda kullanılabilmesi için TKKY (2005)’ de yer alan sınır değerlere uyması TKKY (2005)’e göre, ham arıtma çamurun toprakta kullanılması yasaktır.

Arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için, stabilize olması ve yönetmeliğin Ek 1-B’ sinde yer alan ağır metal sınır kriterlerini aşmaması gerekmektedir, aştığı takdirde atık çamur hiçbir şekilde tarım da kullanılamamaktadır.

#### **2.4.2 Avrupa’ daki Durum**

Avrupa Birliği (AB) yönetmelikleri, çamur yönetimi için iki konu üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bunlar, çamur miktarının azaltılabilmesi için arıtma metotlarının geliştirilmesi ve oluşan çamur kekinin depolanması yerine yeniden kullanım

opsiyonlarının uygulanmasıdır. AB’de, su ve atıksu arıtma tesislerinden çıkan son çamurun kontrolü için 3 metot yaygın kullanılmaktadır, bunlar; depolama, yakma veya araziye uygulamadır. Yakma yöntemi çoğunlukla en son durum olarak değerlendirilmektedir. Bazı Avrupa ülkelerinde çamur keklerinin % 50-75’lik kısmı düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir. Geri kalan % 25-50’lik kısım ise tarım bölgelerinde toprak iyileştirici olarak kullanılmakta veya diğer geri dönüşüm sistemleri içinde değerlendirilmektedir (Öztürk, 2008).

Avrupa Birliği’nde arıtma çamurunun araziye bertarafı bir çeşit düzenli depolama olarak kabul edilmektedir ve düzenli depolama koşulları AB Düzenli Depolama Direktifi olarak bilinen 1999/31/EC ye tabidir. AB Düzenli Depolama Direktifi, atıkların düzenli depolanırken uyulması gereken sınır değerleri içeren teknik standartların sağlanmasını amaçlar. Bu amaç yer, yönetim, kontrol, uzun veya kısa vadede özellikle sızma sonucu yer altı sularının kirletilmesi gibi çevreye tehdit oluşturan unsurları engellemeyi içerir. AB Düzenli Depolama Direktifi, sıvı atıkların düzenli depolama alanlarında bertarafını yasaklar. Sıvı atıkların kapsamında, atıksu ve atıksu arıtma tesislerinde oluşan atık çamur yer almaktadır. Direktife göre, düzenli depolama için atıkların arıtılması gerekmektedir. Arıtma, çamurun hacmini ve tehlikeliliğini düşüren, geri kazanımı kolaylaştıran, ayırma işlemi de dahil olmak üzere fiziksel, kimyasal, ısıl ve biyolojik prosesler olarak tanımlanmaktadır (Spinoza ve Vesilind, 2001).

Avrupa Birliği atık bertarafını 2000-2010 yıllarında % 20, 2050 yılına kadar da % 50 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Avrupadaki geniş çaplı atıksu arıtma tesislerinde, bertaraf etmeden önce, arıtma çamurları, bakteri, virüs ve organik kirleticileri yok etmek için arıtılmaktadırlar (Fytli ve diğ., 2008).

Yakın geçmişte, çamurun bertaraf yöntemlerinde çok ciddi değişiklikler olmuştur. 1998 yılının başlarında, evsel çamur denizlere deşarj ediliyor, nadiren gübre olarak tarımsal alanlar için kullanılıyordu. Deniz deşarjına alternatif, yakma veya düzenli depolama idi. 1998 den itibaren, Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi (Urban Wastewater Treatment Directive, UWWTD) tarafından su ekolojisi korumak için atık çamurun denize deşarjı yasaklanmakla birlikte, düzenli depolama da yavaş yavaş azaltılmaktadır. Buna rağmen Avrupa da arıtma çamurlarının %35-45’i düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmektedir (Fytli ve diğ., 2008).

Arıtma çamurları, atıksu arıtma tesislerinde uygulanan nitrifikasyon, denitrifikasyon prosesleri sonucunda azot ve fosfor içermektedir. Bu içerik arıtma çamurlarına bitkilerin büyümesi için gerekli olan gübre özelliği vermektedir. Bununla beraber, arıtma çamurları besin zincirine karıştığı zaman zararlı olabilecek ağır metal gibi çeşitli elementleri de içermektedir. Arıtma çamurlarının tarımda kullanımı, amacı toprağı insan sağlığını korumak olan Avrupa Arıtma Çamuru Direktifi (86/278/EEC) tarafından sınırlandırılmaktadır (Fytli ve diğ., 2008).

Avrupa Birliğı (AB)'nde arıtma çamurlarının tarımda kullanımı birincil bertaraf metodu olmuştur, üretilen çamurun %37 si tarımda kullanılmakta, %11'i yakma ya tabi tutulmakta, %40'ı düzenli depolama alanlarına gönderilmekte ve %12' lik bir oranda orman gibi diğ er alanlarda kullanılmaktadır (Fytli ve diğ., 2008).

### **2.4.3 ABD' deki durum**

Amerika' da çamur bertarafı ABD Kodu bölüm 40 Kısım 503 'Arıtma çamurları kullanım veya bertaraf standartları' yönetmeliğine dayanır. Kısım 503, bütün çamur arıtma ve bertaraf metotlarını aynı çerçeve altında toplanmasını sağlar, fakat evsel katı atıklar ile birlikte düzenli depolama alanlarına bertaraf edilen arıtma çamurları, ABD Kodu Bölüm 40 Kısım 258' e tabidir. Kısım 503, biyokatıların bertarafını yönetir. Yönetmelik, kirletici limitlerini,yönetim uygulamalarını, patojen azaltımı için işletim standartlarını içerir (EPA, 2009).

Arıtma çamurları, düzenli depolama alanlarına bertaraf edildiğı zaman, zamanla su ve diğ er sıvılar depolama alanlarına süzülür. Süzüntü suyu, düzenli depolama alanındaki katı atıklarla reaksiyona girer ve absorbladığı kirleticiler yüzünden insan ve çevre sağlığı' na risk teşkil eder. Bu sebeplerden ötürü, atıkların düzenli depolama alanlarına bertarafı için ayrıca Toksikite Karakteristik Sızma Prosedürü' ne (TCLP) göre de değerlendirilmesi gerekir. TCLP prosedürü, sıvı, katı ve çok fazlı atıklarda bulunan organik ve inorganik maddelerin akışkanlığını belirlemek için dizayn edilmiştir. TCLP prosedürü, düzenli depolama koşulları simüle edilerek gerçekleştirilmektedir. TCLP' ye tabi tutulan bir katı atık, bu prosedür için belirlenen maddelerin sınır değerlerinden bir veya birkaçında başarısız olursa tehlikeli olduğı anlamına gelmektedir (EPA, 2009).



### 3. MATERYAL VE METOT

Materyal ve metot kapsamında numune alınan kentsel atıksu arıtma tesisleri ile birlikte, alınan çamur keki numunelerine uygulanan analiz yöntemleri detaylı olarak açıklanmıştır.

#### 3.1 Atıksu Arıtma Tesisleri

Arıtma tesislerinden kaynaklanan atık çamur numuneleri, 2 farklı kentsel atıksu arıtma tesisinden alınmıştır.

Atıksu Arıtma Tesisi 1 (AAT-1) yüksek miktarda endüstriyel katkı evsel atıksuların arıtıldığı bir kentsel atıksu arıtma tesisi olup günde 250000 m<sup>3</sup>/gün atıksuyu arıtacak kapasiteye sahiptir. Atıksu arıtma tesislerine ait akım şeması Şekil 3.1' de verilmiştir. Tesiste organik karbon giderimi yapılmaktadır. Atıksu, ızgara ve kum tutucudan geçtikten sonra ön çökeltme tankında çökelebilen katılar ayrılmaktadır. Ön çökeltmeden sonra atıksu aktif çamur ünitesinde biyolojik arıtmaya tabii tutulmaktadır. Tesisten çıkan çamur statik yoğunlaştırıcıda ve çözünmüş hava flotasyonu yoğunlaştırıcıda yoğunlaştırıldıktan sonra, anaerobik olarak çürütülmekte ve santrifüj ile susuzlaştırıldıktan sonra katı atık depolama alanına gönderilmektedir. Bu çalışma kapsamında, deneysel karakterizasyon için çamur keki susuzlaştırma prosesinin çıkışından alınmıştır. Ayrıca, biyolojik reaktörde ve respirometrik analizlerde kullanılmak üzere havalandırma tankından biyokütle alınmıştır.

AAT-1' e ait giriş atıksu karakterizasyonu Çizelge 3.1' de gösterilmektedir. Buna göre, KOİ konsantrasyonu 1280 mg/L, süzülüş KOİ konsantrasyonu 258 mg/L, çözünmüş organik karbon konsantrasyonu 79 mg/L, toplam Kjeldahl azotu konsantrasyonu 88 mg/L, toplam fosfor konsantrasyonu 14 mg/L, askıda katı madde konsantrasyonu 1065 mg/L, uçucu askıda katı madde konsantrasyonu 701 mg/l ve pH değeri de 7,47 olarak verilmektedir. AAT-1' e endüstriyel katılım fazla olduğu için, atıksu karakterizasyonu, evsel atıksu karakterizasyonuna göre, KOİ, AKM, UAKM, TP ve TKN parametreleri bakımından daha kuvvetli ve asidiktir.

**Çizelge 3.1** : AAT-1 ve AAT-2'ye ait giriş atıksu karakterizasyonu (Sözen ve diğ., 2008)

Parametre	Birim	Konsantrasyon	
		AAT-1	AAT-2
KOİ	mg/L	1280	670
Süzülmüş KOİ	mg/L	258	249
ÇOK	mg/L	79	
AKM	mg/L	1065	464
UAKM	mg/L	701	294
TP	mg/L	14	15
TKN	mg/L	88	79
pH	-	7,47	7,6

AAT-1' e ait kirlilik giderim yüzdeleri Çizelge 3.2' de verilmektedir. KOİ giderim yüzdesi %86, AKM giderim verimi % 95, TP giderim verimi % 85 ve TKN giderim verimi % 54' tür.

**Çizelge 3.2** : AAT-1 ve AAT-2 için atıksu arıtma % verimleri (Sözen ve diğ., 2008)

Tesis	KOİ	AKM	TP	TKN
AAT-1	86	95	85	54
AAT-2	95	95	63	85

Atıksu Arıtma Tesisi 2 (AAT-2) ağırlıklı olarak evsel atıksuların arıtıldığı Anaerobik/Anoksik/Aerobik arıtma kademelerinden oluşan A<sup>2</sup>O prosesinin uygulandığı bir kentsel atıksu arıtma tesisi olup kapasitesi günde 125000 m<sup>3</sup>/gün dür. Atıksu arıtma tesisine ait akım şeması Şekil 3.2' de belirtilmiştir. Tesiste, organik karbon giderimiyle beraber azot ve fosfor giderimi de yapılmaktadır. Atıksu, ızgara ve kum tutucudan geçtikten sonra ön çökeltme tankında çökelebilen katılar ayrılır. Ön çökeltmeden sonra atıksu anaerobik, anoksik ve aerobik reaktörlerde arıtılır. Atık çamur çözünmüş hava flotasyonu (DAF) tankında yoğunlaştırıldıktan sonra santrifüjlerle susuzlaştırılmaktadır. Deneysel karakterizasyon için çamur keki susuzlaştırma prosesinin çıkışından alınmıştır.

AAT-2' ye ait giriş atıksu karakterizasyonu Çizelge 3.1' de gösterilmektedir. Buna göre, KOİ konsantrasyonu 670 mg/L, süzölmüş KOİ konsantrasyonu 249 mg/L, toplam Kjehdakl azotu 79 mg/L, toplam fosfor 15 mg/L, askıda katı madde konsantrasyonu 464 mg/L, uçucu askıda katı madde konsantrasyonu 294 mg/l ve pH değeri de 7,6 olarak verilmektedir. AAT-2' ye ait kirlilik giderim verimleri Çizelge 3.2' de verilmektedir. KOİ giderim verimi %95, AKM giderim verimi % 95, TP giderim verimi % 63 ve TKN giderim verimi % 85 tir.

### 3.2 Analiz Programı

Deneysel çalışmalar kapsamında, Katı Madde Muhtevası, Katılardan Özütleme Analizi, Toplam Organik Karbon, Çözönmüş Organik Karbon, Kimyasal Oksijen İhtiyacı parametreleri ölçölmüş, ayrıca organik maddenin biyolojik ayrışabilirliğinin belirlenmesi için, biyolojik reaktör kurulup, respirometrik analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz programının detaylı açıklamaları aşağıdaki başlıklar altında özetlenmiştir.

#### 3.2.1 Katı madde muhtevası

Kentsel atıksu arıtma tesislerinden alınan çamur keklerinin katı madde muhtevasının belirlenmesi için çamur keklerine katı madde muhtevası deneyi uygulanmıştır. Katı madde muhtevası parametresi Standart Methods (2005)'a göre ölçölmüştür. Katı madde muhtevası parametresinde, 2 g kek numunesi alüminyum bir kaba alınıp  $24 \pm 0,5$  saat boyunca  $103-105^{\circ}\text{C}$ ' de etüvde kurumaya bırakılarak 24 saat sonunda numune tartılmış ve katı madde muhtevası formöl 3.1 ile hesaplanmıştır.

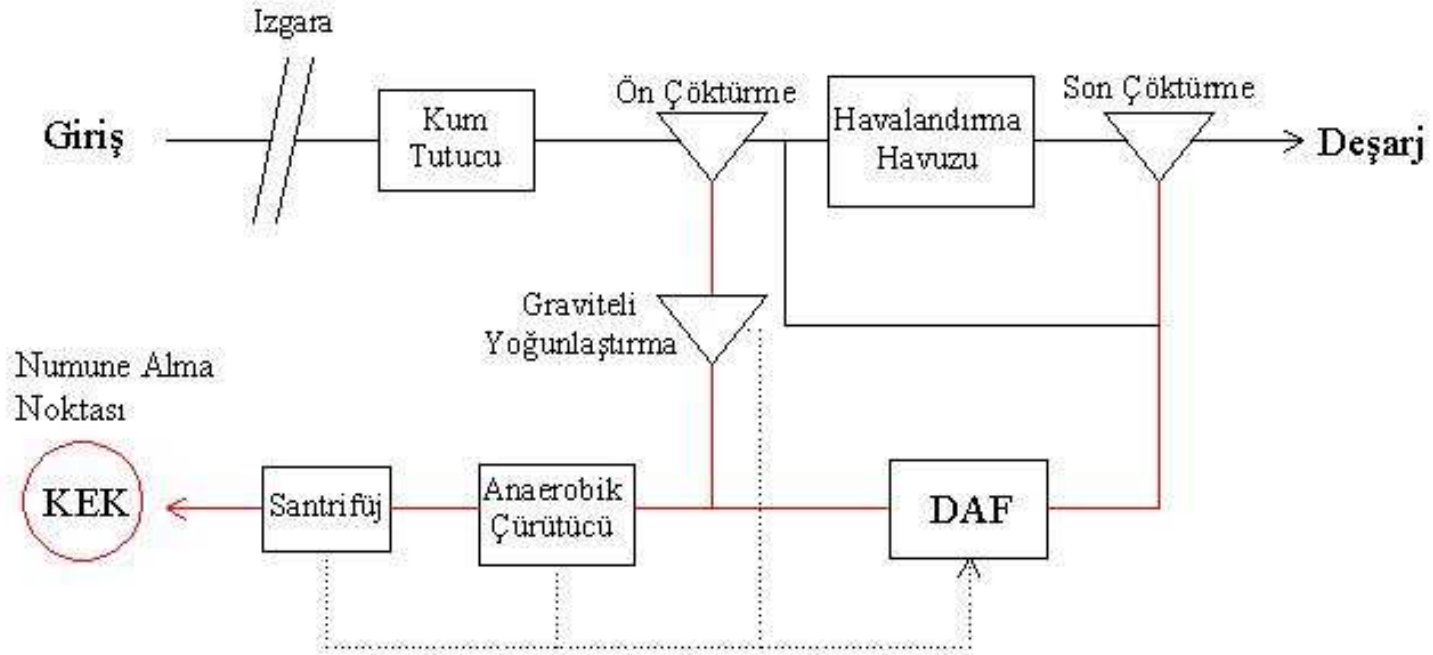
$$DR=100 \cdot M_D / M_W \quad (3.1)$$

Formöl 3.1' de,

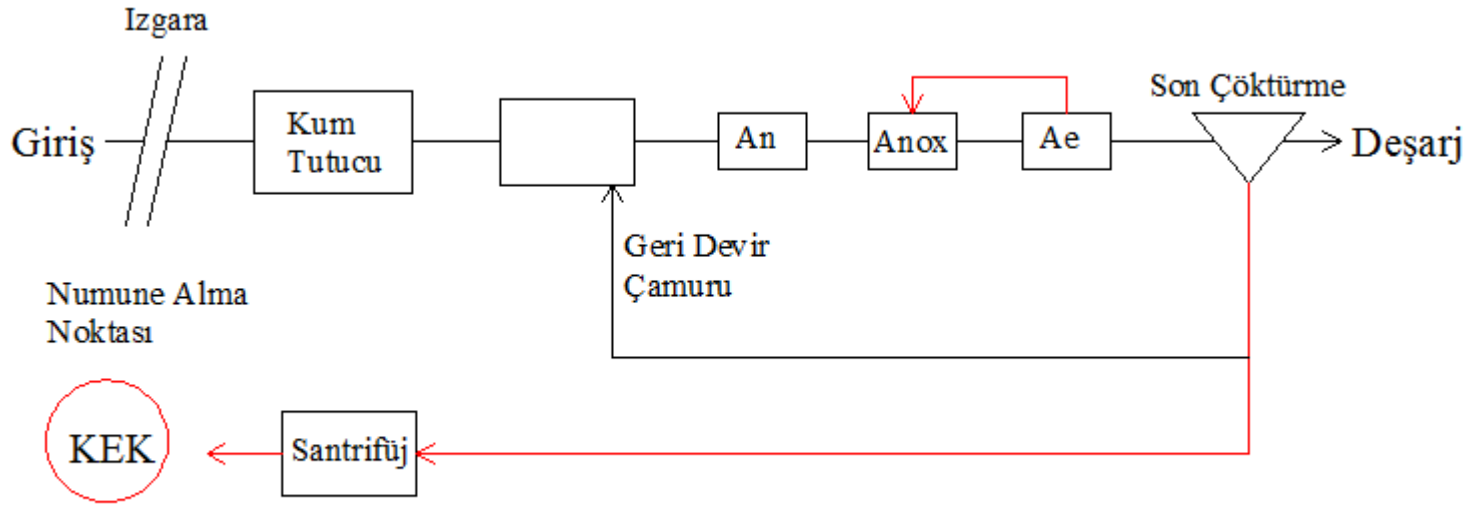
DR : Katı madde muhtevası, (%)

$M_D$  : Numunenin kurutulduktan sonraki ağırlığı, (g)

$M_W$  : Numunenin kurutulmadan önceki ağırlığı, (g)' nı ifade etmektedir.



**Şekil 3.1** : AAT-1'e ait akım şeması



Şekil 3.2 : AAT-2'ye ait akım şeması

### **3.2.2 Katılardan özütleme analizi**

Evsel atıksu arıtma tesislerinden alınan çamur keklerinin organik madde içeriklerinin belirlenmesi için öncelikle çamur kekleri, katı özütleme deneyine tabi tutulmuştur (TS EN 12457:4, 2004). Katıdan özütleme analizi uyarınca, çamur numuneleri  $90 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$  kuru madde olacak şekilde alınarak  $10 \text{ L/kg} -\%2$  olacak şekilde çamura su ilave edilmiştir. Çamur keki numuneleri oda sıcaklığında ( $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ) ve  $24 \pm 0,5$  saat tam karışıma bırakılmıştır. 24 saat sonunda çamur üst fazını ayırmak için santifüjlenmiş ve üst faz gözenek çapı  $1,2 \mu\text{m}$  olan cam elyafı filtreden ve gözenek çapı  $0,45\mu\text{m}$  olan membran filtreden süzölmüştür.

### **3.2.3 Biyolojik reaktör kurulması**

Katıdan özütleme deneyine tabi tutulan arıtma çamuru keklerinin süzöntü suyundaki inert KOİ bileşenlerini saptamak için, gözenek çapı  $1,2\mu\text{m}$  olan filtreden süzölerek elde edilen eluat kullanılarak biyolojik reaktör kurulmuştur. Reaktörler kurulurken kullanılan süzöntü suyu KOİ konsantrasyonu çok yüksek çıktığı için  $1/3$  oranında seyreltilmiştir. Çözünmüş oksijen, basınçlı hava kullanılarak  $2-8 \text{ mg/l}$  olacak şekilde muhafaza edilmiştir. Ayrıca, reaktörlerin karışımı magnetik karıştırıcılarla sağlanmıştır. Oluşturulan reaktörler KOİ değeri sabitleninceye kadar 40 gün süre ile izlenmiştir.

### **3.2.4 Toplam Organik Karbon (TOK) ve Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK)**

Katı özütleme deneyine tabi tutulan çamur keklerinde toplam organik karbon (TOK) ve gözenek çapı  $1,2 \mu\text{m}$  olan cam elyafı filtreden ve gözenek çapı  $0,45\mu\text{m}$  olan membran filtreden süzölen eluatta çözünmüş organik karbon (ÇOK) parametresi ölçölmüştür. Bunlara ek olarak, kurulan biyolojik reaktörün 40 günlük işletimi esnasında belirli aralıklarda reaktörün TOK ve çözünmüş organik karbon (ÇOK) değişimi gözlenmiştir. TOK analizleri, yüksek sıcaklıkta yanma sağlayan Shimadzu TOC-5000A enstrümanı ile TS 8195' e göre ölçölmüştür.

### **3.2.5 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)**

Katı özütleme deneyine tabi tutulan çamur keklerinin gözenek çapı  $1,2 \mu\text{m}$  olan cam elyafı filtreden ve gözenek çapı  $0,45\mu\text{m}$  olan membran filtreden süzöntüsü ile oluşturulan ve 40 gün işletilen biyolojik reaktörlerin KOİ değişimi gözlenmiştir.

KOİ parametresi ISO 6060 metoduna göre ölçülmüştür. Bu metoda göre, KOİ' si 700 mg/L' yi geçmeyecek şekilde erlene alınan numuneye (1-10 ml), 5 ml standart dikromat çözeltisi konulur ve içine kaynama taşı atılır. Daha sonra erlene 15 ml gümüşlü sülfirik asit reaktifi eklenir ve soğutucuya takılıp soğutucu açılır. Erlen içeriği 2 saat süreyle kaynatılır ve 2 saat sonunda ısıtıcı kapatılarak kaynamanın durması beklenir. Soğutucunun içi distile suyla yıkanıp erlen içeriği oda sıcaklığına gelince 2-3 damla ferroin indikatörü ilave edilir. Daha sonra standart demir amonyum sülfat çözeltisi ile renk mavi-yeşilden kiremit kırmızısı olana kadar titre edilir. Şahit için numune olarak 10 ml distile su kullanılır. KOİ değeri aşağıdaki formül 3.2 ile hesaplanır.

$$KOİ(mg / l) = \frac{(a - b) * N * 8 * 1000}{V_{\text{örnek}}} \quad (3.2)$$

a:Şahidin DAS sarfiyatı (ml)

b:Numunenin DAS sarfiyatı (ml)

N:DAS çözeltisinin normalitesi

### 3.2.6 Respirometrik analizler

Katı özütleme deneyine tabi tutulan çamur keklerinin gözenek çapı 1,2 µm olan cam elyafı filtreden ve gözenek çapı 0,45µm olan membran filtreden süzütüsü ve ilgili AAT' nin havalandırma havuzundan alınan biyokütle kullanılarak respirometrik analizler yürütülmüştür.

Deneyisel prosedüre göre, biyolojik reaktörden alınan (V=300ml) aktif çamur numunesi respirometrenin (Applitek Ra-Combo) havalandırma hücresine konulmuştur. Bu hücrede oksijen konsantrasyonu 5–6 mgO<sub>2</sub>/L değerinin üzerinde tutulmaktadır. Deneyin başında, nitrifikasyondan kaynaklanan oksijen tüketilmesinin engellenmesi için nitrifikasyon inhibitörü eklenmiştir. Biyokütlenin içsel solunuma gelmesi sağlandıktan sonra, KOİ değeri belirli olan çamur keki süzütüsü eklenerek Oksijen Tüketim Hızı (OTH) verileri içsel solunum seviyesine kadar ölçülmüştür (Sözen ve diğ., 2008; İnel ve diğ., 2003). Respirometrik analizler Applitek RA-Combo sürekli respirometre (1 numune/dak) ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.3' te bu çalışma esnasında kullanılan numunelere uygulanan deneyler verilmektedir.

**Çizelge 3.3:** Çamur numunelerine uygulanan analizler

<b>Analiz</b>	<b>Çamur Keki</b>	<b>Katı Özütleme Deneyine Tabii Tutulan ve Filtreden Süzülen Süzüntü</b>	<b>İnert Reaktör</b>
<b>Katı Özütleme Deneyi</b>	X		
<b>Katı Madde Muhtevası</b>	X		
<b>KOİ</b>		X	X
<b>TOK</b>			X
<b>ÇOK</b>		X	X
<b>Respirometre</b>		X	

### 3.3 Respirometrik Modelleme Çalışmaları

Çamur keklerinden elde edilen süzüntü suyunun organik madde içeriği ve ayrışma özelliğini bulmak için respirometrik profiller modelleme ile yorumlanmıştır. Kısaca, günümüzde aktif çamur modellemesi KOİ ölçümlerine dayanmaktadır, çünkü bu parametre organik madde, aktif biyokütle ve çözülmüş oksijen arasındaki elektron eşdeğerini belirlemektedir (Orhon ve Artan, 1994). KOİ bileşenlerini içeren bir atıksu karakterizasyonu modelleme için önkoşuldur. Farklı ayrışma özellikleri olan organik maddenin tanımlanması için, KOİ bileşenleri en doğru model için gerekli desteği sağlamaktadır ve e<sup>-</sup> alıcısı ihtiyacı ve biyolojik çamur üretimi hakkında en doğru tahmini vermektedir. Ayrıca, atıksudaki inert bileşenlerin belirlenmesi de modelin doğru değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Orhon, 1999).

Bu çalışma kapsamında, biyolojik ayrışabilirlik ve respirometrik çalışmaların yardımıyla, KOİ bileşenleri ve süzüntü suyunun kinetik sabitleri respirometrik profillerin modellenmesi ile bulunmuştur.

Bu çalışma kapsamında kullanılan model bileşenleri temelde, giriş akımındaki toplam atıksuda ölçülen organik madde miktarı çözülmüş ve partiküler organik madde olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Çözülmüş organik madde parametresinin



içinde, kolay ayrışan organik madde, yavaş ayrışan organik madde ve inert organik madde parametreleri yer almaktadır. Partiküler organik madde parametresinin içinde, yavaş ayrışan organik madde ve inert organik madde parametreleri yer almaktadır (İnsel, 1997).

$$C_T = S_T + X_T \quad (3.3)$$

$$X_T = X_S + X_I \quad (3.4)$$

$$S_T = S_I + S_S + S_H \quad (3.5)$$

Yukarıdaki formüllerde yer alan parametrelerin açıklamaları aşağıda verilmiştir.

$C_T$ : Girişteki Toplam KOİ Konsantrasyonu

$S_T$ : Toplam Çözünmüş KOİ Konsantrasyonu

$S_S$ : Kolay Ayrışabilir KOİ Konsantrasyonu

$S_I$ : Çözünmüş İnert KOİ Konsantrasyonu

$S_H$ : Hızlı Hidroliz Olabilen KOİ Konsantrasyonu

$X_T$ : Toplam Partiküler KOİ Konsantrasyonu

$X_S$ : Yavaş Hidroliz Olabilen KOİ Konsantrasyonu

$X_I$ : Partiküler İnert KOİ Konsantrasyonu

ASM1 modeline (Henze ve diğ., 1987) ait matris gösterimi Çizelge 3.4' te gösterilmektedir. ASM1 modeli içsel solunum modeline dönüştürülecek şekilde modifiye edilmiştir. Tabloda en sol kolon prosesleri, en üst satır model bileşenlerini, matrisin hücreleri proses stokiyometrisini en sağ kolon ise proseslerin hız ifadelerini vermektedir. Model oluşturulma çalışmalarında Aquasim simülasyon programı kullanılmıştır. Model verifikasyonu, inert KOİ deneyleri ile sağlanmıştır.

Çizelge 3.4' te de gösterildiği gibi modelde 3 ana bileşen vardır, bunlar, çoğalma, hidroliz ve ölümdür. Hidroliz, hız sınırlayıcı adımı oluşturmaktadır. Atıksudaki farklı maddeler için değişiklik gösterdiğinden hidroliz hızının tek bir değeri için bu fraksiyonun karakterize edilmesi güç olmaktadır. Buna göre hidroliz katsayısı, hızlı hidroliz olabilen organik madde ve yavaş hidroliz olabilen organik madde olmak üzere iki fraksiyondan oluşmaktadır (Ubay Çokgör, 1997).

**Çizelge 3.4 :** ASM1 bazlı modele ait matris gösterimi

Proses	$S_O$	$S_S$	$S_H$	$X_S$	$X_H$	$X_P$	Hız ifadeleri
Çoğalma	$-(1-Y_H)/Y_H$	$-1/Y_H$			1		$\hat{\mu}_H \frac{S_S}{K_S + S_S} X_H$
Hızlı hidroliz		1	-1				$k_{HS} \frac{S_H / X_H}{K_X + S_H / X_H} X_H$
Yavaş hidroliz		1		-1			$k_{HX} \frac{X_S / X_H}{K_X + X_S / X_H} X_H$
Ölüm	$-(1-f_E)$				-1	$f_E$	$b_H X_H$

## **4. DENEYSEL ÇALŞMALARIN SONUÇLARI**

### **4.1 Çamur Keki DeneYlerinin Sonuçları**

#### **4.1.1 AAT-1'e ait deney sonuçları**

AAT-1 den alınan çamur keki numunesinde su muhtevası ve TOK parametresi, katıdan özütleme analizine tabi tutulan çamur kekinin süzüntüsünde ise ÇOK parametresi incelenmiştir.

Çizelge 4.1'de Atıksu Arıtma Tesisi 1 (AAT-1)'e ait çamur kekinin karakterizasyonu gösterilmektedir. Çamur kekinin katı madde muhtevası %24 olarak ölçülmüştür. Bu değer Çizelge 2.3' de yer alan susuzlaştırma sonucunda elde edilen katı madde muhtevası değerleri ile karşılaştırıldığı zaman uygun bir aralıkta olduğu görülmektedir.

Kekin katıdan özütleme analizine tabi tutulduktan sonra, gözenek çapı 1,2 µm olan cam elyafı filtreden süzülerek elde edilen süzüntü suyunun ÇOK değeri 1035 mgC/L ve gözenek çapı 0,45µm olan membran filtreden süzülerek elde edilen süzüntü suyunun ÇOK değeri ise 410 mgC/L dir. İncelenen kekin TOK değeri 220000 mg/kg kuru madde olarak bulunmuştur. ÇOK ve TOK değerlerine baktığımızda bu değerlerin Tehlikeli Atıkların Kontrol Yönetmeliği (2005) Ek 11-A da yer alan düzenli depolama alanlarına bertaraf edilebilecek tehlikesiz atık kapsamındaki sınır değerleri sağlamadığı, tehlikeli atık kapsamına dahil olduğu görülmektedir.

#### **4.1.2 AAT-2'ye ait deney sonuçları**

AAT-2 den alınan çamur keki numunesinde su muhtevası ve TOK parametresi, katıdan özütleme analizine tabi tutulan çamur kekinin süzüntüsünde ise ÇOK parametresi ölçümleri yapılmıştır. Atıksu arıtma tesislerinden alınan çamur keki numunesinin karakterizasyonu aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1'de belirtildiği gibi, arıtma tesisi 2 (AAT-2)'ye ait çamur kekinin katı madde muhtevası %28 olarak ölçülmüştür, Çizelge 2.3' de gösterilen susuzlaştırma prosesi çıkışında elde edilen katı muhtevası değerlerine göre uygun görülmektedir.

**Çizelge 4.1 :** AAT-1 ve AAT-2' den alınan çamur keklerine ait TOK ve ÇOK parametrelerinin sonuçları

Aritma Tesisi	Katı İçeriği %	TOK mg/kg (Kuru madde)	ÇOK (1,2 µm) mg/L (Eluatta)	ÇOK (0,45 µm) mg/L (Eluatta)
AAT-1	24	220000 % 22	1035	410
AAT-2	28	160000 % 16	710	230

Kekin katıdan özütlenme analizine tabi tutulduktan sonra, gözenek çapı 1,2 µm olan cam elyafı filtreden süzülerek elde edilen eluat'ın ÇOK değeri 710 mgC/L ve gözenek çapı 0,45 µm olan membran filtreden süzülerek elde edilen eluattaki ÇOK değeri 230 mgC/L dir. İncelenen kekin TOK değeri 160000 mg/kg kuru madde'dır. ÇOK ve TOK değerlerinin Tehlikeli Atıkların Kontrol Yönetmeliği (2005) Ek 11-A da belirtilen düzenli depolama için uygun kabul edilen tehlikesiz atık kapsamındaki kriterleri sağlamadığı, tehlikeli atık kapsamına dahil olduğu görülmektedir.

## 4.2 İnert KOİ Bileşenleri

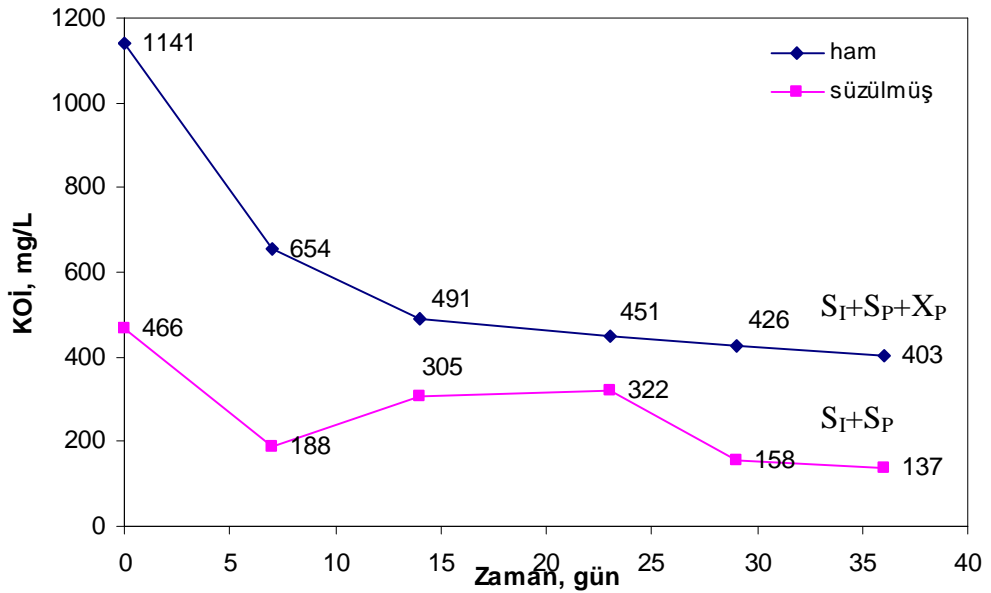
### 4.2.1 AAT-1'e ait deneysel sonuçlar

AAT-1' in susuzlaştırılma çıkışından alınan çamur keki katıdan özütlenme deneyine tabi tutulduktan sonra ve gözenek çapı 1,2 µm olan cam elyafı filtreden süzülerek elde edilen eluat kullanılarak işletilen aerobik reaktörde KOİ ve TOK parametreleri zamana bağlı olarak gözlemlenmiştir. Çizelge 4.2' den anlaşıldığı gibi, gözenek çapı 1,2 µm olan cam elyafı filtre süzüntüsünün KOİ değeri 3425 mg/L ve gözenek çapı 0,45 µm olan membran filtre süzüntüsünün KOİ değeri 1400 mg/L dir. Gözenek çapı 1,2 µm den süzülen süzüntü suyunun KOİ konsantrasyonu ile gözenek çapı 0,45 µm den süzülen süzüntü suyunun KOİ konsantrasyonu arasındaki fark, süzüntü suyunda koloidal özellikte maddelerin olmasından kaynaklanmaktadır.

**Çizelge 4.2 :** AAT-1 ve AAT-2' den alınan çamur keklerinin süzüntü sularına ait KOİ parametrelerinin sonuçları

Aritma Tesisi	KOİ (1,2 µm) mgKOİ/L	KOİ (0,45 µm) mgKOİ/L
AAT-1	3425	1400
AAT-2	1160	557

Biyolojik reaktörler oluşturulurken atıksu, KOİ değerlerinin yüksek olması sebebiyle 1/3 seyreltilerek reaktöre konmuştur. Bu durumda reaktörün başlangıç KOİ değerleri sırasıyla 1141 mg/L ve 466 mg/L dir. Reaktörün zamana bağlı toplam ve süzölmüş KOİ değişimi Şekil 4.1’ de gösterilmektedir. Koyu renk çizgi ile gösterilen değerler toplam KOİ değişimini, açık renk çizgi ile gösterilen değerler süzölmüş KOİ değişimini vermektedir. Şekil 4.1’ ye baktığımızda toplam KOİ konsantrasyonu’ nun 1141 mg/L’ den ortalama 423 mg/L’ ye düştüğü gözlemlenmiştir. Süzölmüş KOİ konsantrasyonu’ nun ise 466 mg/L’ den ortalama 148 mg/L’ye düştüğü gözlenmiştir. Çözönmüş organik maddenin yaklaşık %70’ inin ayrışabilir nitelikte olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.1 : AAT-1’e ait toplam ve süzölmüş KOİ değişim grafiği

Şekil 4.1 ve Çizelge 4.3’ te gösterildiği gibi reaktöre ait başlangıç toplam KOİ konsantrasyonu 1141 mg/L, başlangıç süzölmüş KOİ konsantrasyonu 466 mg/L dir. Nihai toplam KOİ değeri ortalama 423 mg/L olup, reaktörde artılmadan kalan çözönmüş inert KOİ parametresini ( $S_I$ ) ve metabolik ürünleri ( $S_P, X_P$ ) içermektedir. Nihai süzölmüş KOİ konsantrasyonu ortalama 148 mg/L’ dir ve atıksudaki çözönmüş inert KOİ ( $S_I$ ) ve çözönmüş inert metabolik ürünlere ( $S_P$ ) dönüştürölen KOİ bileşenini kapsamaktadır.

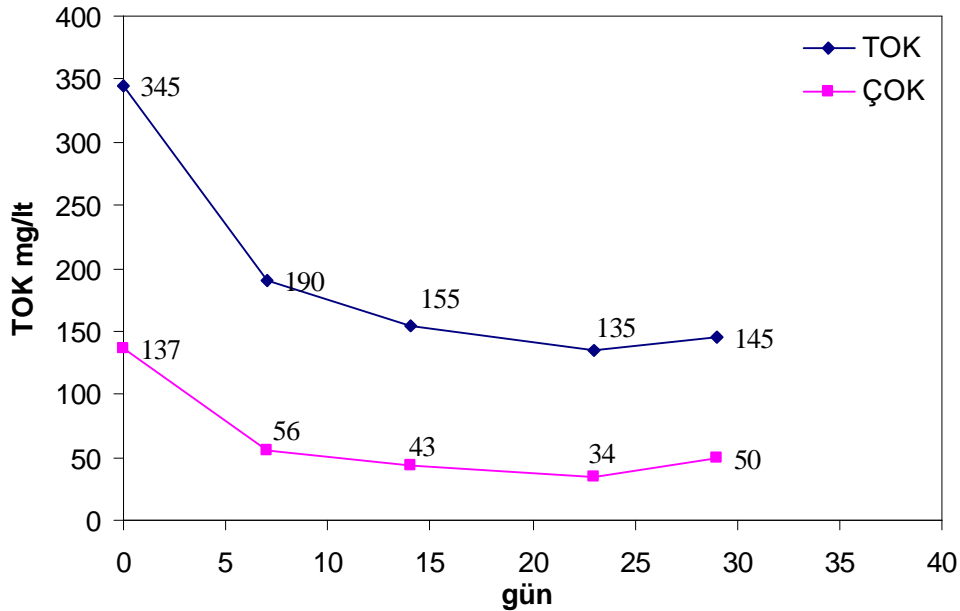
Çözönmüş inert metabolik ürünlere dönüştürölen KOİ fraksiyonu  $Y_{SP}=0,03$  seçilmiştir (Orhon, D., 1999).  $Y_{SP}$  parametresi için seçilen 0,03 değeri kullanılarak

biyolojik sistemde oluşan çözünmüş metabolik ürün konsantrasyonu 34 mg/L olarak hesaplanmıştır. Reaktöre ait çözünmüş inert KOİ değeri  $S_I = 148 - 34 = 114$  mg /L' dir.

**Çizelge 4.3** : AAT-1'den alınan çamur keki süzütüsüne ait biyolojik reaktörün başlangıç ve son KOİ değerleri

Parametre	Birim	Değer
$C_{T1}$	mgKOİ/L	1141
$S_{T1}$	mgKOİ/L	466
$(C_T)_1$	mgKOİ/L	423
$(S_T)_1$	mgKOİ/L	148
$S_P$	mgKOİ/L	34
$S_I$	mgKOİ/L	114

Numune 1/3 oranında seyreltildiği için çamur keki süzütüsüne ait çözünmüş inert KOİ bileşeni 342 mg/L olmaktadır. Susuzlaştırılmış çamurun çözünmüş inert KOİ bileşeni toplam KOİ' nin % 10'unu oluşturmaktadır.



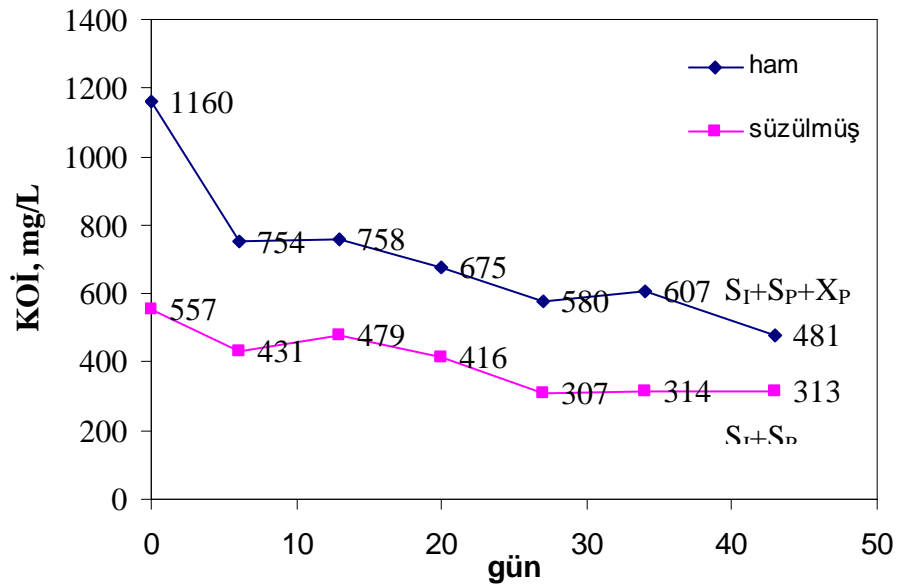
**Şekil : 4.2** AAT-1'e ait TOK ve ÇOK değişim grafiği

Şekil 4.2' te biyolojik reaktörün zamana bağlı TOK ve ÇOK değişimi verilmiştir. Şekilde belirtildiği gibi, TOK konsantrasyonu 345 mg/L den 145 mg/L' ye, ÇOK

konsantrasyonu ise 137 mg/L den 50 mg/L' seviyesine düşmüştür. Reaktörlerin kurulması aşamasında 1/3 seyreltme yapıldığı için, gerçek numune süzüntüsü için TOK konsantrasyonu 435 mg/L ve çıkış ÇOK konsantrasyonu 150 mg/L olarak hesaplanmıştır. 150 mg/L olan ÇOK konsantrasyonunun, TAKY (2005) Ek 11-A' da belirtilen kriterleri aştığı görülmektedir.

#### 4.2.2 AAT-2' ye ait deneysel sonuçlar

AAT-2' ye ait incelenen kek gözenek çapı 1,2 µm olan cam elyafı filtreden süzülerek eluat elde edilmiştir ve elde edilen eluat ile inert reaktörler işletilmiştir. Kurulan reaktörlerde, KOİ ve TOK parametreleri zamana bağlı olarak gözlenmiştir. Çizelge 4.2' de gösterildiği gibi, başlangıç KOİ konsantrasyonları, gözenek çapı 1,2 µm olan cam elyafı filtreden süzülen numune için 1160 mg/L ve gözenek çapı 0,45 µm olan membran filtreden süzülen numune için 557 mg/L' dir.



**Şekil 4.3** : AAT-2' ye ait 1,2 µm filtreden süzülen numunenin KOİ değişim grafiği  
 Reaktörün toplam ve süzülmüş KOİ değişimi Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Şekil 4.3'ten görüldüğü gibi 1,2 µm den süzülen numuneden oluşturulan reaktörün toplam KOİ değeri 1160 mg/L den ortalama 600 mg/L ye, süzülmüş KOİ değeri 557 mg/L den ortalama 310 mg/L seviyesine düşmüştür.

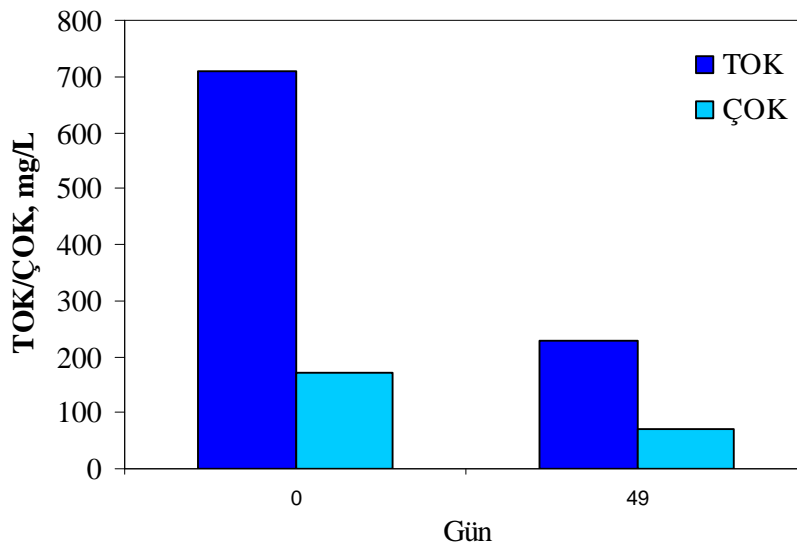
Çözünmüş inert metabolik ürünlere dönüştürülen KOİ fraksiyonu  $Y_{SP} = 0,03$  olarak seçilmiştir (Orhon, D., 1999).  $Y_{SP}$  parametresi için seçilen 0,03 değeri kullanılarak biyolojik sistemde oluşan çözünmüş metabolik ürün konsantrasyonu 35 mg/L olarak

hesaplanmıştır. Reaktöre ait çözülmüş inert KOİ değeri yaklaşık olarak  $S_I = 310-35=275$  mg/L olarak bulunmuştur. Susuzlaştırılmış çamurun çözülmüş inert KOİ bileşeni toplam KOİ' nin % 24'ünü oluşturmaktadır.

**Çizelge 4.4** : AAT-2' den alınan çamur keki süzütüsüne ait biyolojik reaktörün başlangıç ve son KOİ değerleri

Parametre	Birim	Reaktörün KOİ değerleri
$C_{T1}$	mgKOİ/L	1160
$S_{T1}$	mgKOİ/L	557
$(C_T)_1$	mgKOİ/L	600
$(S_T)_1$	mgKOİ/L	310
$S_p$	mgKOİ/L	35
$S_I$	mgKOİ/L	275

Şekil 4.4 gösterildiği gibi, AAT-2' ye ait 1,2 µm filtreden süzülen numunenin TOK konsantrasyonu 710 mg/L den 170 mg/L' ye, ÇOK konsantrasyonu ise 230 mg/L den 70 mg/L seviyesine düşmektedir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında, süzütü suyunun artırılması sonucunda Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2005)Ek 11-A' da öngörülen düzenli depolamaya izin verilen 50-80 mg/L ÇOK konsantrasyonu sınır değerleri' ne ulaşıldığı görülmektedir.



**Şekil 4.4** : AAT-2' ye ait 1,2 µm filtreden süzülen numunenin TOK/ÇOK değişim grafiği

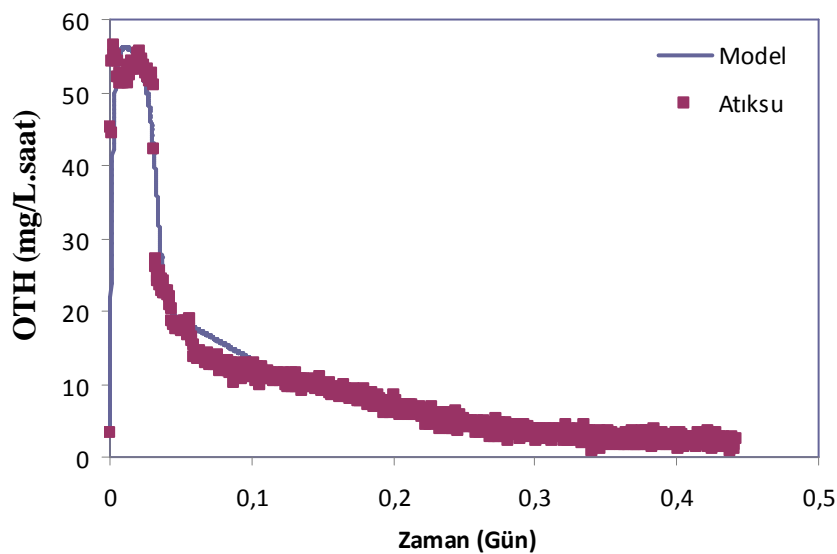


### 4.3 Respirometrik Çalışmaların Sonuçları

Susuzlaştırılmış çamurdan elde edilen süzüntü suyu ile yürütülen respirometrik deneyler sonucunda elde edilen oksijen tüketim hızı (OTH) profilleri ve seçilen model kullanılarak parametre tahmini ile maksimum çoğalma hızı ( $\hat{\mu}_H$ ), çoğalma için yarı doygunluk sabiti ( $K_S$ ), hızlı ve yavaş ayrışan organik maddeye ait ayrışma (hidroliz) hızı ( $k_{HS}$ ,  $k_{HX}$ ), hızlı ve yavaş ayrışan organik madde için hidroliz yarı doygunluk sabiti ( $K_{XS}$ ,  $K_{XX}$ ) ve içsel solunum hızı ( $b_H$ ) saptanmıştır (İnsel ve diğ., 2003).

#### 4.3.1 AAT-1' e ait modelleme sonuçları

Şekil 4.5' de 1,2 µm cam elyafı filtreden süzülen süzüntü suyuna ait deneysel ve modelleme ile elde edilmiş oksijen tüketim hızı (OTH) profili gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi, substrat eklendikten sonra oksijen tüketim hızı (OTH) 60 mg/L.saat değerlerine kadar çıkmıştır ve t=0 anında eklenen substrat tüketilmiştir. Grafikte, OTH profilinde 3 farklı bölge açıkça görülmektedir. İlk aşamada, kolay ayrışabilen organik madde 60 mg/L.saat seviyesinden 20 mg/L.saat seviyesine kadar tüketilmiş, daha sonra 20 mg/L.saat ile 5 mg/L.saat aralığında yavaş ayrışabilen organik madde tüketilmiştir. En son olarak içsel solunum seviyesi' ne 5 mg/L.saat seviyesine ulaşılmıştır. Farklı ayrışma özelliğine sahip organik maddenin varlığı açıkça OTH profilinden görülmektedir.



Şekil 4.5 : AAT-1 için çamur süzüntü suyunda Oksijen Tüketim Hızı (OTH) profili

Çizelge 4.5' te respirometrik modellemeden elde edilen parametreler verilmektedir. Çizelge 4.5' te görüldüğü gibi, maksimum heterotrofik çoğalma hızı  $3,0 \text{ gün}^{-1}$ , hızlı hidroliz olabilen organik madde için maksimum hidroliz hızı  $2,4 \text{ gün}^{-1}$ , yavaş ayrışan organik madde için maksimum hidroliz hızı  $0,4 \text{ gün}^{-1}$ , hidroliz yarı doyumluk sabiti ( $S_H$  için)  $0,1 \text{ mg/L}$ , hidroliz yarı doyumluk sabiti ( $X_S$  için)  $0,3 \text{ mg/L}$ , çoğalma için yarı doyumluk sabiti  $5 \text{ mg/L}$ , içsel solunum hızı  $0,15 \text{ gün}^{-1}$  olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.5 :** AAT-1 den elde edilen çamur süzünsüne ait kinetik katsayılar

Parametre	Birim	Değerler
Maksimum heterotrofik çoğalma hızı, $\hat{\mu}_H$	$\text{gün}^{-1}$	3
Maksimum hidroliz hızı ( $S_H$ ), $k_{HS}$	$\text{gün}^{-1}$	2,4
Maksimum hidroliz hızı ( $X_S$ ), $k_{HX}$	$\text{gün}^{-1}$	0,4
Hidroliz yarı doyumluk sabiti ( $S_H$ ), $K_{XS}$	$\text{gKOİ/gKOİ}$	0,1
Hidroliz yarı doyumluk sabiti ( $X_S$ ), $K_{XX}$	$\text{gKOİ/gKOİ}$	0,3
Çoğalma için yarı doyumluk sabiti , $K_S$	$\text{mg/L}$	5
İçsel solunum hızı, $b_H$	$\text{gün}^{-1}$	0,15

**Çizelge 4.6 :** Evsel atıksulara ait kinetik katsayılar (Sözen ve diğ., 2008)

Parametre	Birim	Değerler
Maksimum heterotrofik çoğalma hızı, $\hat{\mu}_H$	$\text{gün}^{-1}$	3
Maksimum hidroliz hızı ( $S_H$ ), $k_{HS}$	$\text{gün}^{-1}$	2,4
Maksimum hidroliz hızı ( $X_S$ ), $k_{HX}$	$\text{gün}^{-1}$	1,2
Hidroliz yarı doyumluk sabiti ( $S_H$ ), $K_{XS}$	$\text{gKOİ/gKOİ}$	0,1
Hidroliz yarı doyumluk sabiti ( $X_S$ ), $K_{XX}$	$\text{gKOİ/gKOİ}$	0,3
Çoğalma için yarı doyumluk sabiti , $K_S$	$\text{mg/L}$	5
İçsel solunum hızı, $b_H$	$\text{gün}^{-1}$	0,15

Çizelge 4.6' da evsel atıksulara ait kinetik katsayılar verilmiştir. Çizelge 4.5 ve 4.6 karşılaştırıldığında, model çalışmaları sonucunda bulunan kinetik katsayılar aynı atıksu arıtma tesisi için bulunan model parametrelerine uyumluluk göstermektedir. Sadece, yavaş hidroliz olan organik maddeye ait maksimum hidroliz hızı ( $K_H$ ), evsel atıksu niteliğinden daha düşüktür.

AAT-1 için respirometrik modelleme ve inert KOİ deneyleri yardımıyla incelenen çamur keki süzüntü suyu KOİ bileşenleri Çizelge 4.7' de gösterilmektedir. Buna göre, toplam KOİ konsantrasyonu 3430 mg/L, çözülmüş toplam KOİ konsantrasyonu 1397 mg/L, çözülmüş kolay ayrışabilir KOİ konsantrasyonu 475 mg/L, çözülmüş yavaş ayrışabilen KOİ konsantrasyonu 775 mg/L, çözülmüş inert metabolik ürünlere ait KOİ konsantrasyonu 102 mg/L, çözülmüş inert KOİ konsantrasyonu 346 mg/L, partiküler yavaş ayrışan KOİ konsantrasyonu 990 mg/L, partiküler inert KOİ konsantrasyonu 1994 mg/L, partiküler inert metabolik ürünlere ait KOİ konsantrasyonu 65 mg/L olarak belirtilmiştir. Buna göre, çamur kekinden elde edilen süzüntünün %14 ü çözülmüş kolay ayrışabilir, %23' ü çözülmüş yavaş ayrışabilir, %10' u çözülmüş ayrışamayan, %29'u partiküler yavaş ayrışan, %58 partiküler inert organik maddeden ve oluşmaktadır. Süzüntü suyunun yapısında en çok partiküler inert organik madde bulunduğu belirlenmiş ve 3 günlük çamur yaşı partiküler yavaş ayrışan organik maddenin ayrışması için yeterli olmadığı için ortamda partiküler yavaş ayrışan organik madde birikmesi hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.7 : AAT-1'in süzüntü suyuna ait KOİ bileşenleri**

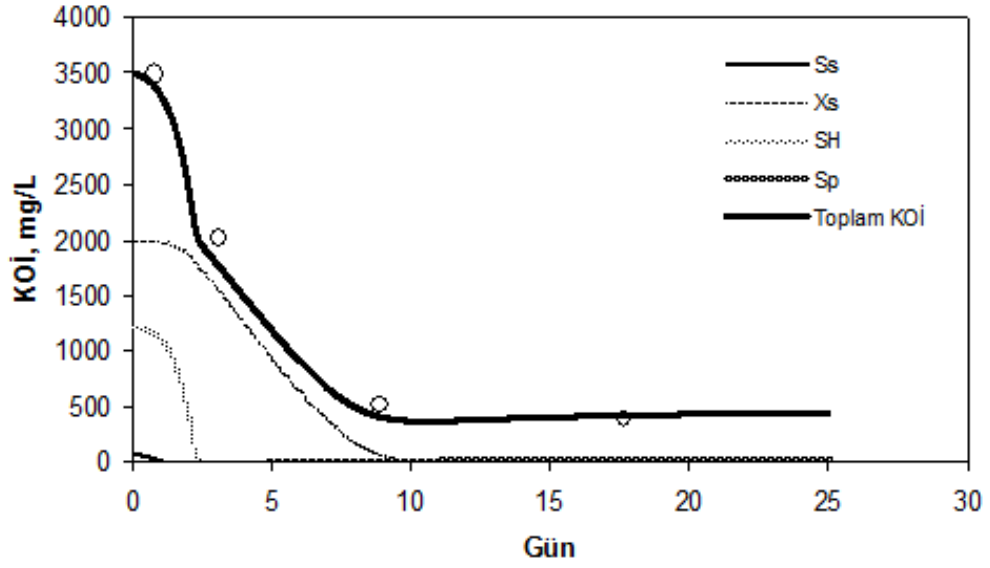
<b>Parametre</b>	<b>Konsantrasyon mgKOİ/L</b>
Toplam KOİ konsantrasyonu, $C_{T1}$	3430
Çözülmüş toplam KOİ konsantrasyonu, $S_{T1}$	1397
Çözülmüş kolay ayrışabilir KOİ konsantrasyonu, $S_S$	475
Çözülmüş yavaş ayrışabilen KOİ konsantrasyonu, $S_H$	775
Çözülmüş inert metabolik ürünlere ait KOİ konsantrasyonu, $S_P$	102
Çözülmüş inert KOİ konsantrasyonu, $S_I$	346
Partiküler yavaş ayrışan KOİ konsantrasyonu, $X_S$	990
Partiküler inert KOİ konsantrasyonu, $X_I$	1994
Partiküler inert metabolik ürünlere ait KOİ konsantrasyonu, $X_P$	65
Aktif biyokütle, $X_H$	3020

**Çizelge 4.8** : AAT-1'e ait biyokütle kompozisyonu ve KOİ bileşenleri (Sözen ve diğ., 2008)

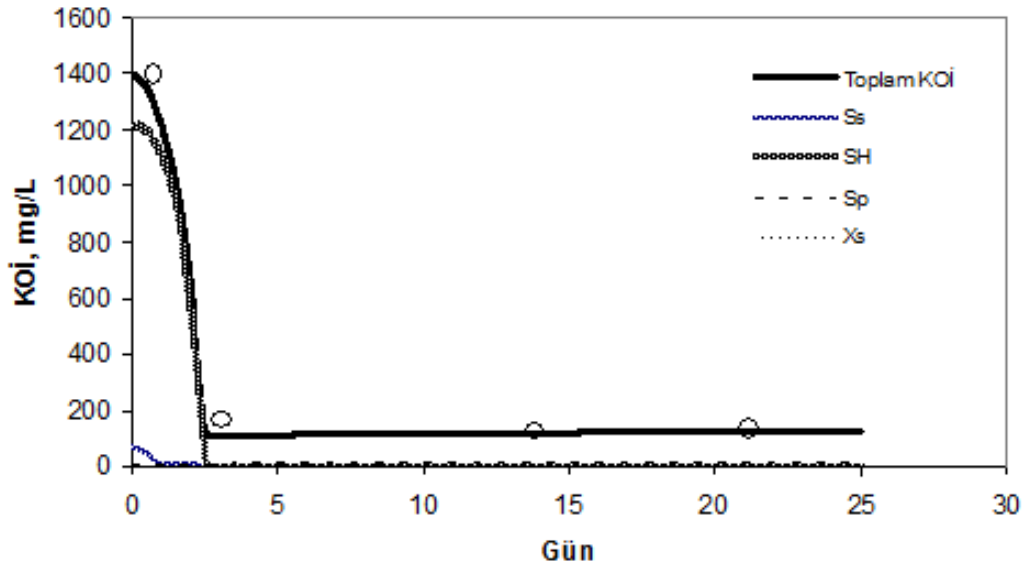
<b>Parametre</b>	<b>Konsantrasyon mgKOİ/L</b>
Toplam KOİ konsantrasyonu, $C_{T1}$	870
Çözünmüş toplam KOİ konsantrasyonu, $S_{T1}$	280
Çözünmüş kolay ayrışabilir KOİ konsantrasyonu, $S_S$	60
Çözünmüş yavaş ayrışabilen KOİ konsantrasyonu, $S_H$	110
Çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu, $S_I$	110
Havalandırma tankında bulunan aktif biyokütle, $X_H$	600
Havalandırma tankı içi yavaş ayrışan organik madde, $X_S$	1900
Havalandırma tankı içi partiküler inert organik madde, $X_I$	850

Çizelge 4.8' de de görüldüğü gibi havalandırma tankında yavaş ayrışan organik madde ( $X_S$ ) birikimi, süzüntüdeki çözünmüş organik karbon (ÇOK) artışına sebep olmaktadır (Sözen ve diğ., 2008). Eluat deneyinden elde edilen süzüntü %70 biyolojik parçalanabilir özelliكتedir. Deng ve diğ., (2007)' nin evsel atıksu arıtma çamurlarında bulunan uçucu yağ asitleri (UYA) emisyonları ile ilgili yaptıkları çalışmada UYA' nın organik maddenin hidrolizi sonucu oluştuğunu belirtilerek, sürekli kurutma esnasında ise %90 dan fazla UYA' nın toplandığını, bununda KOİ olarak 362 mg/L' ye karşılık geldiğini rapor etmektedirler.

Şekil 4.6 ve 4.7' de inert KOİ reaktörlerinin model kullanılarak oluşturulan KOİ profilleri verilmiştir. İntert KOİ deneyinin başlangıç koşulları ve kinetik katsayılar modele girilerek simülasyon yapılmış ve benzer KOİ profili elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde, model sonucu oluşan KOİ değişim grafikleri ile işletilen reaktöre ait KOİ değişim grafiklerinin uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4.6 : AAT-1'e ait 1,2 µm filtreden süzülen susuzlaştırılmış çamurun inert KOİ reaktöründeki KOİ modeli



Şekil 4.7 : AAT-1'e ait 0,45 µm filtreden süzülen susuzlaştırılmış çamurun inert KOİ reaktöründeki KOİ modeli

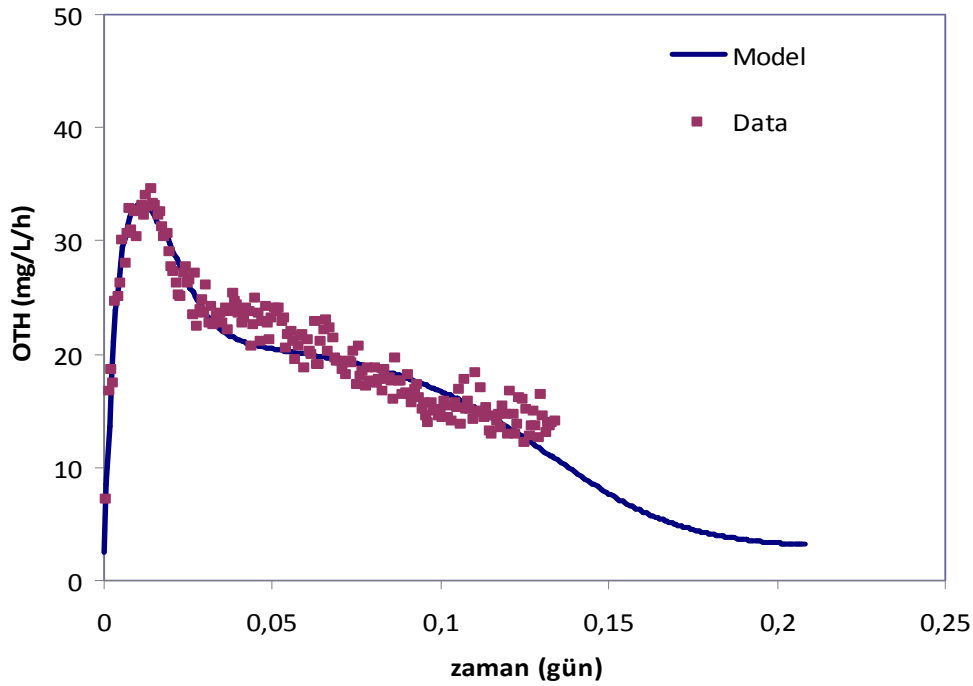
#### 4.3.2 AAT-2' ye ait modelleme sonuçları

Respirometrik analizler, katı özütlemeye deneyine tabi tutulan ve 1,2 µm cam elyafı filtreden süzülen numune üzerinde yapılmıştır. Şekil 4.8' de bu numuneye ait oksijen tüketim hızı (OTH) profili gösterilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi, substrat t=0 anında eklendikten sonra oksijen tüketim hızı (OTH) 35 mg/L.saat değerlerine kadar

çıkılmıştır ve zamanla eklenen substrat tüketilmiştir. İlk etapta, kolay ayrışabilen organik madde 35 mg/L.saat seviyesinden 20 mg/L.saat seviyesine kadar tüketilmiş, daha sonra 20 mg/L.saat ile 5 mg/L.saat aralığında yavaş ayrışabilen organik madde tüketilmiştir. En son olarak biyokütle içsel solunum seviyesi' ne 5 mg/L.saat ulaşılmıştır.

Çizelge 4.9' de belirtildiği üzere, maksimum heterotrofik çoğalma hızı  $3,5 \text{ gün}^{-1}$ , maksimum hidroliz hızı ( $k_H$ )  $2,8 \text{ gün}^{-1}$ , hidroliz yarı doyumluk sabiti ( $K_X$ )  $0,04 \text{ gKOİ/gKOİ}$ , çoğalma için yarı doyumluk sabiti ( $K_S$ )  $6 \text{ mg/L}$  olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.10' da AAT-2 için daha önce yapılmış bir araştırmadan alınan kinetik katsayılar verilmiştir. Çizelge 4.9 ve 4.10' u karşılaştırdığımız zaman, çoğalma kinetiğinin, arıtma tesisinin çoğalma kinetiği ile aynı olduğu, maksimum hidroliz hızının ( $k_H$ ), hidroliz yarı doyumluk sabitinin ( $K_X$ ) ve çoğalma için yarı doyumluk sabitinin ( $K_S$ ), arıtma tesisine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8 : AAT-2 için çamur süzöntü suyunda Oksijen Tüketim Hızı (OTH) profili

**Çizelge 4.9 :** AAT-2 için çamur süzöntü suyuna ait kinetik katsayılar

<b>Parametre</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
Maksimum heterotrofik çoğalma hızı, $\hat{\mu}_H$	gün <sup>-1</sup>	3,5
Maksimum hidroliz hızı, $k_H$	gün <sup>-1</sup>	2,8
Hidroliz yarı doygunluk sabiti, $K_X$	gKOİ/gKOİ	0,04
Çoğalma için yarı doygunluk sabiti, $K_S$	mg/L	6

**Çizelge 4.10 :** AAT-2 için model parametreleri (Sözen ve diğ., 2008)

<b>Parametre</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
Maksimum heterotrofik çoğalma hızı, $\hat{\mu}_H$	gün <sup>-1</sup>	3,5
Maksimum hidroliz hızı, $k_H$	gün <sup>-1</sup>	1,5
Hidroliz yarı doygunluk sabiti, $K_X$	gKOİ/gKOİ	0,02
Çoğalma için yarı doygunluk sabiti, $K_S$	mg/L	4
İçsel solunum hızı, $b_H$	gün <sup>-1</sup>	0,2

Çizelge 4.11' de AAT-2' ye ait KOİ bileşenleri verilmiştir. Bu durumda, toplam KOİ konsantrasyonu 1160 mg/L, çözülmüş toplam KOİ konsantrasyonu 557 mg/L, çözülmüş hızlı hidroliz olabilen KOİ konsantrasyonu 95 mg/L, çözülmüş yavaş ayrışabilir KOİ konsantrasyonu 187 mg/L, çözülmüş inert KOİ konsantrasyonu 275 mg/L ve partiküler yavaş ayrışan KOİ konsantrasyonu 453 mg/L, partiküler inert KOİ bileşeni ise 159 mg/L olarak bulunmuştur. Çamur kekinin süzöntü suyunun % 8'ini çözülmüş kolay ayrışabilir KOİ, % 16'sını çözülmüş yavaş ayrışan KOİ, % 24' ünü çözülmüş inert KOİ, % 39'unu partiküler yavaş ayrışan KOİ konsantrasyonu ve % 13' ünü partiküler inert KOİ oluşturmaktadır.

Respirometrik deneylerden toplam ayrışabilen KOİ konsantrasyonu 735 mg/L olarak bulunmuştur, bu durumda atıksuyun % 63'ü ayrışabilen özelliktedir. Atıksu arıtma tesisi uzun havalandırmalı bir sistem olmasına rağmen sızıntı suyunda kolay ayrışabilir ve yavaş ayrışabilir organik maddeler yer almaktadır. Bu durum, reaksiyonların çamur kekinde ve çamur fazında devam ettiğini göstermektedir. Çizelge 4.12 incelendiğinde çamur kekindeki aktif biyokütlenin ( $X_H$ ), yavaş ayrışan

organik madde ( $X_S$ )'in hidrolizine neden olduğu ve buna bağlı olarak süzünütüde organik madde (ÇOK) artışının olduğu düşünülmektedir.

**Çizelge 4.11** : AAT-2 çamur süzünütü suyuna ait KOİ bileşenleri

<b>Parametre</b>	<b>Konsantrasyon mgKOİ/L</b>
Toplam KOİ konsantrasyonu, $C_{T1}$	1160
Çözünmüş toplam KOİ konsantrasyonu, $S_{T1}$	557
Çözünmüş kolay ayrışabilir KOİ konsantrasyonu, $S_{S1}$	95
Çözünmüş yavaş ayrışabilen KOİ konsantrasyonu, $S_{H1}$	187
Çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu, $S_{I1}$	275
Partiküler yavaş ayrışan KOİ konsantrasyonu, $X_{S1}$	453
Partiküler inert KOİ konsantrasyonu, $X_I$	150

**Çizelge 4.12** : AAT-2' ye ait biyokütle kompozisyonu (Sözen ve diğ., 2008)

<b>Biyokütle Kompozisyonu</b>	<b>Birim</b>	<b>Konsantrasyon</b>
Giriş atıksuyu toplam KOİ konsantrasyonu, $C_{T1}$	mgKOİ/L	475
Giriş atıksuyu çözünmüş toplam KOİ konsantrasyonu, $S_{T1}$	mgKOİ/L	45
Giriş atıksuyu çözünmüş kolay ayrışabilir KOİ konsantrasyonu, $S_{S1}$	mgKOİ/L	25
Giriş atıksuyu çözünmüş inert KOİ konsantrasyonu, $S_{I1}$	mgKOİ/L	20
MLSS	mg/L	6570
$X_I$	mgKOİ/L	3085
$X_H$	mgKOİ/L	1305
$X_{PAO}$	mgKOİ/L	280
$X_A$	mgKOİ/L	115
$X_S$	mgKOİ/L	50



Çizelge 4.12' de verilen AAT-2' ye ait biyokütle kompozisyonu incelendiğinde, aktif biyokütlenin 1585 mgKOİ/L ve yavaş ayrışan KOİ'nin ise 50 mgKOİ/L olduğu görülmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi, reaktördeki aktif biyokütle ve yavaş ayrışan organik madde ne kadar fazla ise sızıntıdaki KOİ ve ÇOK miktarı da aynı oranda artış yapmaktadır. AAT-2 için respirometrik model çalışması ile elde edilen toplam yavaş ayrışan KOİ konsantrasyonu 640 mg/L dir. Bu durum, aktif çamurun ölümü sonucunda, yavaş ayrışan organik maddeye dönüşmesi ile açıklanabilmektedir.

#### **4.4 AAT-1 ve AAT-2' nin Karşılaştırılması**

Çizelge 4.13' de görüldüğü gibi, AAT-1' e ait çamur kekinin TOK değeri 220.000 mg/kg kuru madde, süzüntü suyunun ÇOK değeri 410 mgC/L iken, AAT-2' ye ait çamur kekinin TOK değeri 160.000 mg/kg kuru madde, eluatın ÇOK değeri 231 mg/L dir. Bu farklılığın sebebi incelenen tesislerin hem atıksu özelliklerinin hem de işletme koşullarının farklı olması olarak açıklanabilir. Çok düşük çamur yaşında işletilen AAT-1' de organik madde gideriminin istenilen düzeyde gerçekleşmediğini söyleyebiliriz. AAT-1 ve AAT-2' ye ait çamur keki süzüntüsünün KOİ değerleri 1397 mg/L ve 557 mg/L' dir. AAT-1' e endüstriyel atıksuların katılımından dolayı süzüntü suyundaki KOİ ve ÇOK seviyeleri daha yüksektir.

AAT-1' e ait süzüntü suyundaki KOİ bileşenlerinin, sadece evsel atıksuların artıldığı AAT-2' ye göre daha yüksek olmasının sebebi, AAT-1' de evsel atıksuların yanında endüstriyel katkılı atıksuların da artırılmasıdır. AAT-1'in 3 günlük çamur yaşı ile işletilmesinden dolayı bu tesisteki yavaş ayrışan organik madde konsantrasyonu, 20 günlük çamur yaşı ile işletilen AAT-2' ye göre daha fazladır. AAT-1 de çamur anaerobik olarak çürütülmektedir ve anaerobik çürütücünün giderim verimi %52 (Sözen ve diğ., 2008) seviyelerinde olmaktadır. Fakat, anaerobik çürütücünün giderim veriminin ve 3 günlük çamur yaşının AAT-1 için yeterli olmamasından dolayı, süzüntü suyunda yavaş ayrışan organik madde birikimi olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.13 incelendiğinde, AAT-1'in model parametrelerinin AAT-2'nin model parametrelerinden daha düşük olduğu görülmektedir. AAT-1'e endüstriyel katılımların olması sonucu ortamda inhibisyon yapan maddelerin bulunduğu

**Çizelge 4.13 : AAT' lere ait çamur keki ve çamur keki süzüntüsü konsantrasyonları**

Parametre	Birim	AAT-1	AAT-2
<b>ÇAMUR KEKİ</b>			
Katı madde içeriği	%	24	28
TOK	mg/kg kuru madde	220000	160000
<b>ELUAT</b>			
ÇOK <sub>0</sub>	mg/L	410	231
ÇOK <sub>t</sub>	mg/L	147	70
KOİ <sub>0</sub>	mg/L	1397	557
KOİ <sub>t</sub>	mg/L	444	310
<b>KOİ BİLEŞENLERİ</b>			
S <sub>s</sub>	mg/L	475	95
S <sub>H</sub>	mg/L	775	187
S <sub>I</sub>	mg/L	346	275
X <sub>S</sub>	mg/L	990	453
X <sub>I</sub>	mg/L	1994	150
<b>KİNETİK KAYSAYILAR</b>			
$\hat{\mu}_H$	gün <sup>-1</sup>	3,0	3,5
k <sub>HS</sub>	gün <sup>-1</sup>	2,4	2,8
k <sub>HX</sub>	gün <sup>-1</sup>	0,4	
K <sub>XS</sub>	gKOİ/gKOİ	0,1	0,04
K <sub>XX</sub>	gKOİ/gKOİ	0,3	
K <sub>S</sub>	mg/L	5	6

düşünülmektedir. İki tesis için de biyokütle kompozisyonunun yüksek olduğu görülmektedir. Biyokütle kompozisyonunun yanında yavaş ayrışan organik madde'nin de yüksek olması, sızıntı suyunda KOİ' nin ve ÇOK'un yüksek

konsantrasyonlarda olmasına ve katı fazda bulunan yavaş ayrışan organik madde (Xs), düzenli depolama alanlarına bertaraf edildiğine, çözünmüş forma dönüşerek ÇOK parametresinin artmasına neden olması beklenmektedir.



## 5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Atıksu arıtma tesislerinden çıkan susuzlaştırılmış arıtma çamurlarının bertarafı her geçen gün artan çamur miktarı ve bu atıkların içerdiği yüksek miktarlardaki organik maddenin çevreye yayılması sebebiyle problem oluşturmaktadır. Envest'in verilerine göre, Türkiye'de 2005 yılında, toplam 1.130 milyon ton/yıl çamur üretilmiştir. Arıtma çamurlarının, düzenli depolama alanlarına bertarafı sonucu içerisindeki suyun sızmasıyla, su ekosistemi ve insan sağlığı tehlikeye girmektedir. Sızıntı sularının ekosisteme karışmadan arıtılmaları gerekmektedir. Bu çalışmada, kentsel atıksu arıtma tesislerinden çıkan çamur keklerine ait sızıntı sularının biyolojik ayrıştırılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda 2 farklı tam ölçekli büyük kentsel atıksu arıtma tesisinden çamur keki numuneleri alınmıştır.

AAT-1, yüksek miktarda endüstriyel katkının olduğu evsel atıksuların arıtıldığı bir kentsel atıksu arıtma tesisidir, aktif çamur sistemi ile karbon giderimi yapılmaktadır, çamur yaşı 3 gündür, çamur yoğunlaştırıldıktan ve susuzlaştırıldıktan sonra bertaraf edilmektedir. AAT-2, ağırlıklı olarak evsel atıksuların arıtıldığı A<sup>2</sup>O prosesinin uygulandığı bir kentsel atıksu arıtma tesisidir. Bu tesiste, anaerobik, anoksik ve aerobik olmak üzere üç farklı kademeye sahip olan biyolojik fosfor giderimi gerçekleşmekte olup çamur yaşı 20 gündür. Çamur yoğunlaştırıldıktan sonra susuzlaştırılıp bertaraf edilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan çamur keki numuneleri, atıksu arıtma tesisinin susuzlaştırma (santrifüj) prosesi çıkışından alınmıştır.

AAT-1 ve AAT-2' den alınan çamur kek numunelerinde katı madde muhtevası incelenmiş olup katı madde muhtevaları sırasıyla %24 ve %28 olarak bulunmuştur. Çizelge 2.3' ten, santrifüj ile susuzlaştırma sonunda elde edilen katı madde muhtevası değerinin % 20-25 aralığında olması gerektiği görülmektedir. Analizler sonucunda elde ettiğimiz katı madde muhtevası değerlerini Çizelge 2.3'te verilen değerler ile karşılaştırdığımızda susuzlaştırma veriminin literatürde verilen değerlere uygun olduğu görülmektedir.

AAT-1 ve AAT-2' den alınan çamur kek numunelerinin TOK parametresi her iki arıtma tesisi için sırayla 220.000 mg/kg kuru madde ve 160.000 mg/kg kuru madde olarak bulunmuştur. Çamur keklerinin gözenek çapı 1,2 µm olan cam elyafı filtreden geçirilerek elde edilen süzüntü suyunun ÇOK değerleri sırasıyla 1035 mg/L ve 710 mg/L ve gözenek çapı 0,45 µm olan membran filtreden geçirilerek elde edilen süzüntü suyunun ÇOK değerleri sırasıyla 410 mg/L ve 230 mg/L olarak saptanmıştır. Çamur prosesi stabilizasyona uygun olarak seçilmesine rağmen, bu değerlerin Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2005) Ek 11-A da belirtilen TOK ve ÇOK limitlerine göre kekin depolama alanlarına bertaraf edilmesi ile ilgili kriterlere uygunluk göstermediği saptanmıştır. Öncelikle sızıntı suyunun karakterinin önemli olması sebebiyle ÇOK parametresi incelenmiş ve ÇOK değerinin tehlikeli olmayan atıklar için belirlenen 50-80 mg/L olan limitleri sağlamadığı görülmüş, daha sonra da çamur kekine ait orijinal atık TOK parametresi incelenmiş ve bu parametrenin de 50.000 mg/kg kuru madde standardını sağlamadığı saptanmıştır. ÇOK ve TOK parametrelerinin standarda göre çok yüksek çıkması, arıtma sonucunda stabil bir çamur elde edilemediğini ve hidroliz reaksiyonlarının katı fazda da devam ettiğini göstermektedir.

AAT-1' den alınan çamur keki numunesi katıdan özütleme analizine tabi tutulmuş ve 1,2 µm filtreden süzülerek elde edilen süzüntü suyunun biyolojik ayrışabilirliği incelemek için biyolojik reaktör kurularak 40 gün süre ile işletilmiştir. Reaktörün işletilmesi sırasında haftada bir ÇOK ve TOK ölçümleri yapılmış ve süzüntü suyunda %65 organik madde gideriminin gerçekleştiği görülmüştür. Arıtma sonucunda elde edilen ÇOK değerinin 147 mg/L olması, süzüntü suyuna uygulanan arıtma prosesinin yeterli olmadığını göstermektedir. Kuvvetli karaktere sahip olan endüstriyel katkıların olması ve tesisin düşük çamur yaşında işletilmesi çamur stabilizasyonunun yeterli olmamasının sebepleri arasında gösterilebilmektedir.

AAT-2'den alınan kekin süzüntü suyunun TOK değişimi incelendiğinde %75 organik madde giderimi olmakla beraber, ÇOK konsantrasyonunun ise 71 mg/L seviyesine düştüğü gözlemlenmiştir. Bu değer TAKY (2005)'de yer alan düzenli depolama bertarafına izin veren 50-80 mg/L sınır değerlerini sağlamaktadır.

İki numuneden oluşturulan süzüntü suyuna ait KOİ/TOK oranı 2,8 olup süzüntü suyu numuneleri evsel atıksu karakterine yakınlık göstermektedir.

AAT-1' in atıksu karakterinde, endüstriyel katkıları olduğu için, hidroliz hızı çok düşük olarak bulunmuştur. Bu durumda yavaş ayrışan organik madde ortamda ayrışmadan kalmaktadır. Ayrıca stabilize olmayan çamurda biyokütle fazlalığı ve biyokütle ile etkileşim içinde olan yavaş ayrışan partiküller organik madde ( $X_s$ )'nin de yüksek konsantrasyonda olması,  $X_H-X_S$  etkileşimini daha da arttırarak ÇOK seviyesini yükseltmektedir. Bu etkileşimin, anaerobik hidroliz ve fermantasyondan ileri geldiği düşünülmektedir. Çamur keklerinde, yavaş ayrışan organik maddenin hidrolizi ve hidroliz ürünlerinin anaerobik şartlarda fermantasyona uğramasının da, ÇOK konsantrasyonu arttırdığı düşünülmektedir. Sözen ve diğ. (2008)' nin yaptığı araştırmada, çamur yaşı 3 gün olan AAT-1' de partiküler yavaş ayrışan organik madde ( $X_s$ )' nin biriktiği ve toplam 600 mg/L aktif biyokütle ( $X_H$ ) olduğu belirtilmiştir. Çamur yaşı 20 gün olan AAT-2 için, toplam biyokütlenin ( $X_H+X_{PAO}$ ) 1585 mg/L, partiküler yavaş ayrışan organik maddenin ise 50 mg/L olduğu raporlanmıştır. Bu sonuçlar çerçevesinde, partiküler yavaş ayrışan organik madde ( $X_s$ )' nin düşük çamur yaşında biriktiği söylenebilmektedir. Yavaş ayrışan organik madde ile biyokütle arasındaki etkileşimi incelediğimizde AAT-1 için  $X_S/X_H$  oranı 3,16 seviyesinde, ÇOK konsantrasyonu 430 mg/L, AAT-2 için  $X_S/X_H$  oranı ise 0,03, buna karşılık ÇOK konsantrasyonu ise 230 mg/L dir. Buna göre, yüksek  $X_S/X_H$  oranlarının ÇOK seviyelerini arttırmakta olduğunu söyleyebiliriz. Çamur yaşının düşük olması, yavaş ayrışan organik madde ( $X_S$ )'nin ayrışması için gerekli süreyi sağlayamamaktadır, öte yandan anaerobik çürütme işlemine rağmen çamur stabilizasyonu ÇOK ve TOK açısından sağlanamamaktadır ve ayrışmayan organik madde çamur fazına geçerek, reaksiyonların katı fazda da devam etmesine neden olmaktadır. Katı fazda bulunan yavaş ayrışan organik madde ( $X_s$ ), düzenli depolama alanlarına bertaraf edildiğinde, hidrolize uğradığı için çözülmüş forma dönüşerek ÇOK parametresinin artmasına neden olabilecektir.

AAT-1'e ait biyolojik arıtılabilirlik çalışmaları ile bulunan çözülmüş inert KOİ bileşeni, toplam KOİ' nin % 10' unu oluşturmaktadır ve bu değer evsel atıksu arıtma tesislerinde görülen değerlere uygunluk göstermektedir.

AAT-1'e ait biyolojik arıtılabilirlik çalışmaları ile respirometrik çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, süzütünün %14'ü çözülmüş kolay ayrışabilir ( $S_S$ ), %23'ü çözülmüş yavaş ayrışabilir ( $S_H$ ) ve %53'ünün ise partiküler yavaş ayrışan ve partiküler inert ( $X_S+X_I$ ) bileşenlerden oluştuğu saptanmıştır.

Evsel atıksu arıtma çamurlarının kurutulma esnasında çıkardıkları, uçucu yağ asitleri (UYA) emisyonları ile ilgili yapılan bir çalışmada uçucu yağ asitlerinin organik maddenin hidroliz olması ile açığa çıktığı belirtilmiştir. Sürekli kurutma esnasında %90 dan fazla UYA toplanmış ve KOİ bazında 362 mgKOİ/L seviyesinde olduğu raporlanmaktadır. UYA' nın kimyasal oksitlenebilirliği dikkate alındığında, 475 mgKOİ/L kolay ayırılabilir organik madde ile kıyaslandığında konsantrasyonların birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Katıdan özütleme analizi ile elde edilen süzüntü suyu %75 biyolojik parçalanabilir özelliktedir. Organik maddenin ayrışması evsel atıksularla karşılaştırıldığında daha düşük seviyede olduğu görülmektedir.

AAT-1'e uygulanan respirometrik çalışmalar ve model çalışmaları ile biyolojik arıtılabilirlik esaslı çalışmalar sonucunda çamur kekine ait kinetik sabitler bulunmuştur. Maksimum heterotrofik çoğalma hızı ( $\hat{\mu}_H$ ) 3,0 gün<sup>-1</sup>, hızlı hidroliz olabilen KOİ' ye ait maksimum hidroliz hızı ( $K_{HS}$ ) 2,4 gün<sup>-1</sup>, yavaş hidroliz olan KOİ' ye ait maksimum hidroliz hızı ( $K_{HX}$ ) 0,4 gün<sup>-1</sup>, hızlı hidroliz olabilen KOİ' ye ait hidroliz yarı doygunluk sabiti ( $K_{XS}$ ) 0,1 gKOİ/gKOİ, yavaş hidroliz olabilen KOİ' ye ait hidroliz yarı doygunluk sabiti ( $K_{XX}$ ) 0,3 gKOİ/gKOİ, çoğalma için yarı doygunluk sabiti ( $K_S$ ) 5 mg/L ve içsel solunum hızı ( $b_H$ ) 0,15 gün<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Bu değerler Sözen ve diğ. (2008)'nin yaptıkları araştırma ile karşılaştırıldığında, yavaş hidroliz olabilen KOİ' ye ait maksimum hidroliz hızı'nın evsel atıksu niteliğinden daha düşük olduğu, diğer katsayıların da evsel atıksu niteliğinde olduğu görülmektedir. Yavaş hidroliz olabilen KOİ' ye ait maksimum hidroliz hızının, evsel atıksu niteliğinden daha düşük olması, partiküler yavaş ayrışan organik maddenin, AAT-1'in çok düşük çamur yaşında işletilmesinden dolayı ortamda birikmesinden kaynaklandığı görüşüne varılmıştır.

AAT-1'in modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen KOİ bileşenlerinin konsantrasyonları incelendiğinde, toplam KOİ konsantrasyonu 3430 mgKOİ/L, çözülmüş toplam KOİ konsantrasyonu 1397 mgKOİ/L, çözülmüş kolay ayırılabilir KOİ konsantrasyonu 475 mgKOİ/L, çözülmüş yavaş ayrılabilen KOİ konsantrasyonu 775 mgKOİ/L, çözülmüş inert metabolik ürünlere ait KOİ konsantrasyonu 102 mg/L, çözülmüş inert KOİ konsantrasyonu 346 mg/L, partiküler yavaş ayrışan KOİ konsantrasyonu 990 mg/L, partiküler inert KOİ konsantrasyonu



1994 mg/L, partiküler inert metabolik ürünlere ait KOİ konsantrasyonu 65 mg/L olarak saptanmıştır. Süzüntü suyunun büyük bir kısmının partiküler yavaş ayrışan ve partiküler inert KOİ konsantrasyonundan oluştuğu görülmektedir. Bu sonuçlar incelendiğinde, ortamdaki çözülmüş organik maddenin, yavaş ayrışan organik madde birikiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

AAT-2' ye ait çamur kekinin biyolojik ayrışabilirlik çalışmalarında, süzüntü suyunun %8'ini çözülmüş kolay ayrışabilir KOİ, %16'sını çözülmüş yavaş ayrışan KOİ, %24' ünü çözülmüş inert KOİ, %39'unu partiküler yavaş ayrışan KOİ konsantrasyonu ve %13'ünü partiküler inert KOİ oluşturmaktadır. Toplam ayrışabilen KOİ konsantrasyonu 735 mg/L olmakla beraber %63'lük orana karşı gelmektedir. Atıksu arıtma tesisi uzun havalandırmalı bir sistem olmasına rağmen sızıntı suyunda kolay ayrışabilir ( $S_s$ ) ve yavaş ayrışabilir organik madde ( $X_s$ ) yer almaktadır. Bu durum, reaksiyonların çamur kekine geçtiğini ve katı fazda da devam ettiğini göstermektedir.

AAT-2'den elde edilen süzüntü suyuna uygulanan model sonucunda kinetik katsayılar hesaplanmıştır. Maksimum heterotrofik çoğalma hızı  $3,5 \text{ gün}^{-1}$ , maksimum hidroliz hızı ( $k_H$ )  $2,8 \text{ gün}^{-1}$ , hidroliz yarı doyumluk sabiti ( $K_X$ )  $0,04 \text{ gKOİ/gKOİ}$ , çoğalma için yarı doyumluk sabiti ( $K_S$ )  $6 \text{ mg/L}$  olarak belirlenmiştir. Kinetik katsayılar, AAT-2' ye ait katsayılar (Sözen ve diğ. 2008) ile kıyaslandığında, çoğalma kinetiğinin, arıtma tesisinin çoğalma kinetiği ile aynı olduğu, maksimum hidroliz hızının ( $k_H$ ), hidroliz yarı doyumluk sabitinin ( $K_X$ ) ve çoğalma için yarı doyumluk sabitinin ( $K_S$ ), arıtma tesisine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Yavaş ayrışan organik maddenin, zamanla kolay ayrışan organik maddeye dönüşmesi aradaki farkın sebebi olarak açıklanabilmektedir. Reaktördeki biyokütle konsantrasyonu ile yavaş ayrışan organik madde arasındaki etkileşim incelendiğinde, yavaş ayrışan organik madde ne kadar fazla ise sızıntı suyundaki KOİ ve ÇOK miktarının da aynı oranda arttığı düşünülmektedir. Aktif çamurun ölümü sonucunda, hidroliz reaksiyonu ile mevcut yavaş ayrışan organik maddenin kolay ayrışan organik maddeye dönüşmesi ile açıklanabilmektedir.

AAT-1 ve AAT-2, kekte katı muhtevası ve TOK, eluatta ise ÇOK ve KOİ değerleri bakımından karşılaştırıldığında, AAT-1'in, kekte katı madde muhtevasının daha düşük olduğu, kekte TOK ve eluatta ÇOK ve KOİ konsantrasyonunun AAT-2' ye göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu fark AAT-1'e endüstriyel katılım sonucu

giriş atıksuyun kuvvetli karakterde olmasından, atıksu arıtma prosesinin ve çamur bertaraf yönteminin farklı olmasından kaynaklanabilmektedir. AAT-1' e ait süzöntü suyundaki KOİ bileşenlerinin, sadece evsel atıksuların arıtıldığı AAT-2' ye göre daha kuvvetli karakterde olmasının sebebi, AAT-1' de evsel atıksuların yanında endüstriyel katkıli atıksuların da arıtılmasıdır. AAT-1'in 3 günlük çamur yaşı ile işletilmesinden ve anaerobik çürütmenin stabilizasyon için yeterli olmamasından dolayı bu tesisteki yavaş ayrışan organik madde konsantrasyonu, 18-20 günlük çamur yaşı ile işletilen AAT-2' ye göre daha fazla olduğu düşünülmektedir. 3 günlük çamur yaşı ve anaerobik çürütücü verimi, AAT-1 için yeterli olmadığından, süzöntü suyunda yavaş ayrışan organik madde birikimi olduğu düşünülmektedir.

AAT-1' in kinetik katsayılarının, AAT-2' ye göre daha düşük seviyelerde olduğu görülmektedir. Endüstriyel katılımlar sonucunda atıksuda inhibisyon etkisi yaratan maddelerin bulunması kinetik katsayıların daha düşük mertebelerde olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Biyokütle kompozisyonuna baktığımız zaman, iki tesis için de biyokütle kompozisyonu yüksektir ve biyokütle kompozisyonunun yanında yavaş ayrışan organik maddenin de yüksek olması, sızıntı suyunda KOİ' nin yüksek konsantrasyonlarda olmasına neden olmakta ve katı fazda bulunan Xs, düzenli depolama alanlarına bertaraf edildiğinde, çözülmüş forma hidrolizi sonucu ÇOK parametresinin artmasına sebep olduğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak, KAAY (2006)' ya göre her belediyenin kendine ait atıksu arıtma tesisine sahip olması maddesi uyarınca oluşan çamurun daha da artacağı görülmektedir. Bu sebepten ötürü, arıtma çamurlarının süzöntü suyunun, ekosisteme karışarak ortamda problem oluşturması minimum seviyelere indirilmelidir. Arıtma tesislerinde karbon dengesinin kurulması için, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (2005) Ek 11-A' nın karbon dengesine göre uygunluğunun araştırılması gerekmektedir. Ayrıca, biyokütle kompozisyonu ile ÇOK arasındaki bağıntının kurulabilmesi için, katı özütleme deneyinin de yapısı incelenmelidir. Çamur keklerinde mevcut bulunan biyokütle kompozisyonunun, mikrobiyolojik analiz yardımıyla oluşturulan model desteği ile incelenmesi, ayrıca kek ortamının ve deneysel koşulların detaylı olarak araştırılması gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

- Anderson, N.J., Dixon, D.R., Harbour, P.J., Scales, P.J.**, 2002. Complete characterisation of thermally treated sludges, *Water Sci. Technol.*, **46**, 10, 51–54.
- Apaydın, S., Ertuğrul, T., Berktaş, A.**, ‘Katı Atık Depolama Sahası Genç Sızıntı Sularının Ön Arıtımı’, *Üniversite Öğrencileri 2. Çevre Sorunları Kongresi*, Fatih Üniversitesi, İstanbul, 16–18 Mayıs 2007
- APHA**, 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edn., American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington D.C., USA.
- Büyükkamacı, N.**, 2004. Biological sludge conditioning by Fenton’s reagent, *Process Biochemistry*, **39**, 1503-1506.
- Chen, S., Sun, D., ve Chung, J.**, 2008, ‘Simultaneous removal of COD and ammonium from landfill leachate using an anaerobic–aerobic moving-bed biofilm reactor system’, *Waste Management*, **28**, 339–346.
- Çokgör, EU.**, 1997, ‘Aerobik sistemlerde proses stokiometrisi ve kinetiğinin respirometrik olarak değerlendirilmesi’, *Doktora tezi*, İTÜ.Çevre Müh. Böl., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deng, WY., Yan, JH., Li, XD., Wang, F., Zhu, XW., Lu, SY., Cen, KF.**, 2009, ‘Emission characteristics of volatile compounds during sludges drying process’, *Journal of Hazardous Materials*, **162**, pp. 186-192.
- Dewil, R., Baeyen, J., Neyens, E.**, 2005. ‘Fenton peroxidation improves the drying performance of waste activated sludge’, *Journal of Hazardous Materials*, **B117**, 161-170.
- Dohányos, M., Zábranská, J., Kutil, J., Jeníček, P.**, 2004. ‘Improvement of anaerobic digestion of sludge’, *Water Science and Technology*, **49**, 10, 89–96.
- Everett, J. G.**, 1973. ‘Recent developments in heat treatments’, *J. Water Pollut. Control Fed.*, **50**, 1, 73-75.
- Filibeli, A.**, 1998, ‘Arıtma Çamurlarının İşlenmesi’, DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Filibeli, A. and Erden Kaynak G.**, 2006. ‘Pre-treatment processes applied to decrease quantity and to improve dewatering properties of treatment plant sludge’, *İTÜ Dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü*, **16**, 1-3, 3-12.
- Fytli, D. ve Zabaniotou, A.**, 2008, ‘Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—A review’, *Sustainable Energy Reviews*, **12**, pp. 116-140.

- Haug, T.R., Stuckey, D.C., Gossett, J.M., McCarty, P.L.**, 1978. 'Effect of thermal pretreatment on digestibility and dewaterability of organic sludges', *J. Water Pollut. Control. Fed.*, **50**, 73–85.
- Huang, W. S.**, 1995. 'The solubility and digestion property of applying ultrasound and alkaline to waste activated sludge (WAS)'. *Yüksek lisans tezi*, Graduate Institute of Environmental Science, Tunghai University, Taichung, Taiwan, ROC.
- ISO 6060**, International Standards Organization, Water Quality – Determination of the chemical oxygen demand. Ref.No. ISO 6060-1986.
- İnsel, G.**, 1997, 'Kot yıkama tesisi atıksularının biyolojik arıtılabilirliği ve modellenmesi', *Yüksek lisans tezi*, İTÜ. Çevre Müh. Böl., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İnsel, G., Orhon D., Vanrolleghem P.A.**, 2003, 'Identification and modelling of aerobic hydrolysis mechanism-application of optimal experimental design', *J. Chem.Tech. Biotech.*, **78(4)**, 437-445.
- KAAY**, 2006, Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara*.
- Kepp, U., Machenbach, I., Weisz, N., Solheim O.E.**, 1999. 'Enhanced stabilisation of sewage sludge through thermal hydrolysis—three years of experience with full scale plant', *Proceedings of Specialised Conference on Disposal and Utilisation of Sewage Sludge: Treatment Methods and Application Modalities*, Athens, Greece, 161–168.
- Köktuna, M.**, 2008, 'Comparison of activated sludge disintegration technologies for digestion performance', *Yüksek lisans tezi*, İTÜ. Çevre Müh. Böl., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lue-Hing, C., Zenz, DR., Kuchenrither, R.**, 1992, 'Municipal Sewage Sludge Management : Processing, Utilization and Disposal', Technomic Publishing Co. INC, Lancaster, USA.
- Metcalf ve Eddy**, 2003, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*, Irwin/McGraw-Hill, Boston, MA,USA.
- Neyens, E., Baeyens, J., Weemaes, M., De Heyder, B.**, 2003. 'Pilot scale peroxidation (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) of sewage sludge', *Journal of Hazardous Materials*, **B9**, 8, 91-106.
- Orhon, D., Karahan Ö., Sözen S.**, 1999, 'The effect of residual microbial products on the experimental assesment of the particulate inert COD in wastewaters', *Wat. Res.* Vol. **33**, No. 14, pp. 3191-3203.
- Öztürk, C.**, 2008, 'Biyolojik arıtma atık çamurlarının aerobik ve anaerobik stabilizasyonunun değerlendirilmesi', *Yüksek lisans tezi*, İTÜ. Çevre Müh. Böl., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Qasim, SR.**, 1999, 'Wastewater Treatment Plants:Planning, Design and Operation', CRC Press, Florida, USA.
- Przewrocki, P., Kulczycka. J., Wzorek, Z., Kowalski, Z., Goranza, K., Jodko, M.**, 'Risk analysis of sewage sludge- Poland and EU comparative

- approach', *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. **13**, No. 2, pp. 237-244.
- Rajan, R. V., Lin, J.G., Ray, B. T.**, 1989. 'Low level chemical pretreatment for enhanced sludge solubilization', *Res. J. Water Pollut. Control Fed.*,**61**, 1678–1683.
- SKKY Teknik Usuller Tebliği**, 1991 Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara*.
- Sözen, S., Orhon, D., Çokgör, EU., Görgün, E., İnsel, G., Karahan, O., Yağcı, N., Taş, DO., Dilekgürgen, E., Doğruel, S., Hancı, TO., Zengin, GE., Çığın, AS., Pala, İ., Katipoğlu, T., Eldem, N., Ünal, A.**, 2008, '*İSKİ Tuzla biyolojik Ve Paşaköy İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarım Kriterlerinin İncelenmesi*'.
- Spinoza, L. ve Vesilind P.A.**, 2001, '*Sludge into Biosolids: Proceeding, Disposal, and Utilization*', IWA Publishing, United Kingdom.
- Tchobanoglous, G., Crites, R.**,1998, '*Small and Decentralized Wastewater Management Systems*', WCB/McGraw-Hill, USA.
- TAKY**, 2005, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara*.
- TKKY**, 2005, Toprak Kirliliğini Kontrol Yönetmeliği, *Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara*.
- Tomei, M.C., Braguglia C.M., Mininni, G.**, 2008, 'Anaerobic degradation kinetics of particulate organic matter in untreated and sonicated sewage sludge: Role of the inoculum', *Bioresour. Technol.*, Vol. **99**, No. 14, pp. 6119-6126.
- TS EN 12457:4**, 2004, Katıdan Özütleme Analizi, *Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara*.
- TS 8195**, 2000, Su Kalitesi- Toplam Organik Karbon (TOK) ve Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) Tayin Kılavuzu, *Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara*.
- Url-1** <<http://www.bcm.org.tr>>, alındığı tarih 28.06.2008.
- Url-2** <<http://www.ehso.com/cssepa/TCLP.htm>>, alındığı tarih 30.04.2009.
- Vesilind, P.A., Hartman, G.C., Skene, E.T.**, 1986, '*Sludge Management & Disposal*', LEWIS PUBLISHERS, INC, USA.
- Vlyssides, A. G., and Karlis, P. K.**, 2004. 'Thermal-alkaline solubilization of waste activated sludge as a pre-treatment stage for anaerobic digestion', *Bioresource Technology*, **91**, 201-206.
- Vranitzky, R., Lahnsteiner, J.**, (2005). 'Sewage sludge disintegration using ozone – A method of enhancing the anaerobic stabilization of sewage sludge', VA TECH WABAH, R&D Process Engineering, Siemensstrasse 89, A-1211 Vienna, Austria.
- Yoshio S., Tetruso F., Hidenari Y., Masahide S.**, 1997. 'An activated sludge process without excess sludge production', *Water Science and Technology*, **36**, 11, 163–170.

**Zupančič GD., Roš M.,** 2008, 'Aerobic and two-stage anaerobic–aerobic sludge digestion with pure oxygen and air aeration', *Bioresour. Technol.*, Vol. **99**, No. 1, pp. 100-109.

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad: Merve ÇIRPICI**

**Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 1983**

**Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi**