

**168325**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIKSULARIN ARITILMASI**

**Kimyager Öznur ALP**

**FBE Kimya Anabilim Dalı Analitik Kimya Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Göksel AKÇİN (YTÜ)**

**ÜYE: Prof. Dr. Ülker BEKER (YTÜ)**

**ÜYE: Yrd. Doç. Dr. Gürdal KANAT (YTÜ)**

**İSTANBUL, 2005**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTIMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. GENEL BİLGİ .....	8
3.1 Atıksu Arıtma Yöntemleri.....	8
3.2 Atıksu Çeşitleri.....	9
3.3 Evsel Atıksular .....	9
3.4 Anaerobik Arıtmaya Genel Bakış .....	11
3.4 Anaerobik Ayrışmayı Etkilen Çevresel Faktörler .....	12
3.4.1 Sıcaklık.....	12
3.4.2 pH.....	13
3.4.3 Toksik Bileşenler.....	13
3.5 Anaerobik Ayrışma Prosesi.....	13
3.5.1 Hidroliz.....	15
3.5.2 Asit Üretimi .....	15
3.5.3 Asetat Üretimi .....	15
3.5.4 Metan Üretimi .....	15
3.6 Aşağıdan Yukarıya Akışlı Anaerobik Çamur Battaniyesi (AAÇB) Reaktörü .....	16
3.7 AAÇB Reaktörü Proses Tasarım Parametreleri .....	19
3.7.1 Atıksu Karakteristiği .....	20
3.7.2 Aşağıdan Yukarıya Akışlı Anaerobik Çamur Battaniyesi (AAÇB) Reaktörünün Boyutlandırılması .....	20
3.7.3 Besleme Ünitesi.....	22
3.7.4 Çıkış Suyu Toplama Ünitesi.....	22
3.7.5 Gaz – Sıvı – Katı Ayırma Ünitesi.....	22
3.7.6 Diğer Üniteler.....	23
3.8 Atıksuların Yeniden Kullanımı .....	24
3.9 EMWATER (Akdeniz Ülkelerinde Atık Suyun Etkin Yönetimi, Arıtımı ve Yeniden Kullanımı) Projesi Hakkında Genel Bilgi.....	25
4. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	27
4.1 Kesikli Besleme.....	28

4.1.1	Kesikli Besleme Esnasında Kullanılan Aşağıdan Yukarıya Akışlı Anaerobik Çamur Battanisi Reaktör Düzenegi .....	28
4.1.2	Proses Parametrelerinin Hesaplanması.....	30
4.1.3	Giriş ve Çıkış Suyu Örneklerinde Analiz Edilen Parametreler ve Analiz Yöntemleri .....	32
4.1.3.1	Toplam ve Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı ( $KOI_{tot}$ ve $KOI_{\text{çöz}}$ ).....	32
4.1.3.2	Toplam Askıda Katı Madde (TAKM).....	35
4.1.3.3	Toplam Organik Karbon (TOK) ve Toplam Azot (TN).....	37
4.1.4	Çamur Örneklerinde Analiz Edilen Parametreler ve Analiz Yöntemleri .....	39
4.1.4.1	pH ve Sıcaklık .....	39
4.1.4.2	Toplam Askıda Katı Madde (TAKM).....	39
4.1.4.3	Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM) .....	39
4.1.4.4	Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ) .....	40
4.2	Devamlı Besleme.....	43
4.2.1	Devamlı Besleme Esnasında Kullanılan Aşağıdan Yukarıya Akışlı Anaerobik Çamur Battanisi Reaktör Düzenegi .....	43
4.2.2	Proses Parametrelerinin Hesaplanması.....	46
4.2.3	Gaz Hacminin Ölçülmesi .....	46
4.2.4	Giriş ve Çıkış Suyu Örneklerinde Analiz Edilen Parametreler ve Analiz Yöntemleri .....	47
4.2.4.1	Toplam ve Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı ( $KOI_{tot}$ ve $KOI_{\text{çöz}}$ ).....	47
4.2.4.2	Toplam Askıda Katı Madde (TAKM).....	49
4.2.4.3	Toplam Organik Karbon (TOK) ve Toplam Azot (TN).....	50
4.2.4.4	Uçucu Yağ Asitleri (UYA).....	51
4.2.5	Çamur Örneklerinde Analiz Edilen Parametreler ve Analiz Yöntemleri .....	53
4.2.5.1	pH ve Sıcaklık .....	53
4.2.5.2	Toplam Askıda Katı Madde (TAKM).....	53
4.2.5.3	Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM) .....	53
4.2.5.4	Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ) .....	53
5.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	55
5.1	Kesikli Besleme Çalışmasının Sonuçları.....	55
5.1.1	Elde Edilen $KOI_{tot}$ ve $KOI_{\text{çöz}}$ Uzaklaştırma Verimi .....	55
5.1.2	Elde Edilen TAKM Uzaklaştırma Verimi .....	56
5.2	Devamlı Besleme Çalışmasının Sonuçları .....	58
5.2.1	Elde Edilen $KOI_{tot}$ ve $KOI_{\text{çöz}}$ Uzaklaştırma Verimi .....	58
5.2.2	Elde Edilen TAKM Uzaklaştırma Verimi .....	59
	KAYNAKLAR.....	62
	ÖZGEÇMİŞ.....	66

## SİMGE LİSTESİ

A	Alan
g	Gram
H	Yükseklik
kg	Kilogram
L <sub>o</sub>	Organik yük
l	Litre
M	Molarite
m	Metre
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
m <sup>2</sup>	Metrekare
m <sup>3</sup>	Metreküp
N	Normalite
N <sub>el</sub>	Elektron sayısı
Q <sub>i</sub>	Debi
V	Hacim
T	Sıcaklık
v <sub>1</sub>	Akış hızı
µm	Mikrometre
°C	Santigrad derece
%	Yüzde işareti

## KISALTMA LİSTESİ

AAÇB	Aşağıdan Yukarıya Anaerobik Çamur Battaniyesi
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ <sub>5</sub>	5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
COD	Chemical Oxygen Demand
ÇHI	Çamur Hacim İndeksi
EMWATER	Efficient Management of Wastewater, its Treatment and Reuse in the Mediterranean Countries
EU	European Union
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
HAc	Asetik Asit
HAS	Hidrolik Alıkonma Süresi
InWEnt	Internationale Weiterbildung und Entwicklung
IR	Infra Red
K	Kış mevsimi
Kj – N	Kjeldahl Azotu
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOİ <sub>tot</sub>	Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOİ <sub>çöz</sub>	Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MEDA	Mediterranean
MLD	Million Liters per Day
OY	Organik Yük
RBC	Rotating Biological Contactor
SBR	Sequencing Batch Reactor
SP	Sampling Point
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TN	Toplam Azot
TOK	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor
TSS	Total Suspended Solid
TUHH	Technische Universität Hamburg Harburg
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UV	Ultra Violet
UYA	Uçucu Yağ Asidi
Y	Yaz mevsimi

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Atıksu arıtma yöntemleri.....	8
Şekil 3.2 Organik maddelerin mikroorganizmalarca anaerobik ayrışma prosesi.....	14
Şekil 3.3 Aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battaniyesi (AAÇB) reaktörü.....	18
Şekil 3.4 Türkiye’de imalat sanayi işyerinde tüketilen su miktarı.....	24
Şekil 4.1 Kesikli besleme esnasında kullanılan AAÇB reaktörü.....	28
Şekil 4.2 (a) Depolama tankı ve birinci pompa.....	29
Şekil 4.2 (b) AAÇB reaktörünün genel görünüşü.....	29
Şekil 4.3 LCK 114 Dr. Lange KOİ ölçüm kiti.....	33
Şekil 4.4 Dr. Lange termostat LT 1W ve ISiS 9000 fotometre.....	33
Şekil 4.5 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının KOİ <sub>tot</sub> diyagramı.....	34
Şekil 4.6 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının KOİ <sub>çöz</sub> diyagramı.....	34
Şekil 4.7 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının KOİ <sub>tot</sub> ve KOİ <sub>çöz</sub> diyagramı.....	35
Şekil 4.8 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının TAKM diyagramı.....	36
Şekil 4.9 Multi N/C 3000 cihazı.....	37
Şekil 4.10 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının TOK diyagramı.....	38
Şekil 4.11 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının TN diyagramı.....	38
Şekil 4.12 Çamur hacim indeksi analizi.....	41
Şekil 4.13 Devamlı besleme esnasında kullanılan AAÇB reaktörü.....	43
Şekil 4.14 (a) Çöktürme tankı.....	44
Şekil 4.14 (b) Çamur deşarj vanası.....	44
Şekil 4.15 AAÇB reaktöründe oluşan gaz hacmi diyagramı.....	47
Şekil 4.16 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının KOİ <sub>tot</sub> diyagramı.....	48
Şekil 4.17 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının KOİ <sub>çöz</sub> diyagramı.....	48
Şekil 4.18 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun KOİ diyagramı.....	49
Şekil 4.19 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun TAKM diyagramı.....	49
Şekil 4.20 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun TOK diyagramı.....	50
Şekil 4.21 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun TN diyagramı.....	50
Şekil 4.22 Büchi 321 Distilasyon cihazı.....	51
Şekil 4.23 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun UYA diyagramı.....	52
Şekil 5.1 Devamlı besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularının KOİ <sub>tot</sub> ve KOİ <sub>çöz</sub> değerlerine ait uzaklaştırma verimi diyagramı.....	59

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Pilot tesislerde AAÇB reaktörü ile yapılan çalışmalar .....	4
Çizelge 2.2 Tam ölçekli tesislerde AAÇB reaktörü ile yapılan çalışmalar .....	6
Çizelge 3.1 Evsel atık su karakteristikleri .....	10
Çizelge 4.1 AAÇB reaktörüne ait proses parametreleri .....	32
Çizelge 4.2 AAÇB reaktöründen alınan çamurun hacim indeksi .....	41
Çizelge 4.3 Kesikli besleme esnasında analiz edilen tüm parametrelere ait ortalama değerler .....	42
Çizelge 4.4 AAÇB reaktörüne ait proses parametreleri .....	46
Çizelge 4.5 AAÇB reaktöründen alınan çamurun hacim indeksi .....	53
Çizelge 4.6 Devamlı besleme esnasında analiz edilen tüm parametrelere ait ortalama değerler .....	54
Çizelge 5.1 Kesikli besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait KOİ <sub>tot</sub> değerleri .....	55
Çizelge 5.2 Kesikli besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait KOİ <sub>çöz</sub> değerleri .....	55
Çizelge 5.3 Kesikli besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait TAKM değerleri .....	56
Çizelge 5.4 Devamlı besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait KOİ <sub>tot</sub> değerleri ve uzaklaştırma verimleri .....	58
Çizelge 5.5 Devamlı besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait KOİ <sub>çöz</sub> değerleri ve uzaklaştırma verimleri .....	58
Çizelge 5.8 Devamlı besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait TAKM değeri ve uzaklaştırma verimi .....	60

## ÖNSÖZ

Bana bu tez çalışması için yurtdışına gitmem konusunda öncülük eden, tezimi hazırlarken benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilimsel anlamda hayallerimi gerçekleştirmemi sağlayan, hayatımda ne yapmak istediğimi her zaman bilmeyi ve bu uğurda en doğru adımları atmayı öğreten, ufkumu genişleten çok değerli hocam Sayın Prof. Dr. Göksel Akçin'e sonsuz saygı ve teşekkürü bir borç bilirim. Siz olmasaydınız, bu 5 sene bu kadar keyifli ve başarılı geçmezdi.

TUHH'deki çalışmalarım süresince benden desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Çevre Mühendisleri Sayın Claudia Wendland ve Dr. Joachim Behrendt'e teşekkür ederim. Ayrıca, Çevre Mühendisi Sayın Yrd. Doç. Dr. Gürdal Kanat'a da yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ve son olarak, aileme benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri ve beni attığım her adımda destekledikleri için teşekkür ederim.

Bu tezde emeği geçen herkese... İyi ki varsınız ve bana hep destek oldunuz.



## ÖZET

Su kıtlığı, insanoğlunun karşı karşıya bulunduğu dünya çapında bir sorundur. Bu sorun dünya nüfusunu oldukça ciddi şekilde etkilemektedir. 2003 yılında Japonya'nın Kyoto kentinde yapılan "su toplantısı"nda sunulan bildiri 2015 yılında 2 milyar insanın temiz su kaynaklarına ulaşmakta sıkıntı yaşayacağı belirtilmiştir.

Akdeniz ülkeleri bu sıkıntıdan en çok etkilenecek ülkelerdir. Akdeniz ülkelerinde yaşanması olası bu gerçekler göz önüne alınarak, Avrupa Birliği tarafından desteklenen ve InWEnt (Internationale Weiterbildung und Entwicklung) tarafından yürütülen EMWATER (Efficient Management of Wastewater, its Treatment and Reuse in the Mediterranean Countries) başlıklı proje 2004 yılında hayata geçirilmiştir. Projenin amacı, Türkiye, Ürdün, Lübnan, Filistin'de atıksu iyileştirilmesi ve güvenilir su eldesini, atıksuyun verimli şekilde kullanımı konusunda halkın bilgisini arttırmak, ilgili ülkeler arasındaki işbirliğini güçlendirmek ve en önemlisi de yaşam ve sağlık standartlarını yükseltmektir.

Bu araştırmanın büyük bir kısmı EMWATER (Akdeniz Ülkelerinde Atık Suyun Etkin Yönetimi, Arıtımı ve Yeniden Kullanımı) projesi çerçevesinde, Hamburg - Harburg Teknik Üniversitesi, Almanya'da, Ağustos 2004 – Nisan 2005 tarihleri arasında Atıksu Anabilim Dalı'nın laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, evsel atıksuların aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battaniyesi (AAÇB) reaktörü ile artılabilirliği incelenmiş, bu reaktör ile verimli arıtma yapabilmek için gereken optimum koşullar belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışma iki bölümden oluşmaktadır. Birinci kısım, literatürde "batch" olarak adlandırılan, kesikli beslemedir. Bu kısımda, AAÇB reaktörü Hamburg'daki Eissendorfer Caddesi'nde bulunan yerleşim merkezlerinden elde edilen 100 litre evsel atıksu ile geri dönüşüm sağlamak suretiyle beslenmiştir. Bu kısmın amacı; uzun süreli biyolojik bozunmanın saptanabilmesidir.

İkinci kısım ise reaktörün taze evsel atıksu ile devamlı olarak beslenmesinden oluşmaktadır. Bu kısmın amacı ise; 13 - 18 °C sıcaklıkta AAÇB reaktörü ile arıtma yapabilmek için gereken optimum koşulların belirlenmeye çalışılması ve arıtma veriminin belirlenmesidir.

Başlangıç ve son  $KOİ_{tot}$  ve  $KOİ_{çöz}$  değerlerinden elde edilen biyolojik bozunma sırasıyla % 90.4 ve % 68.66'dır. TAKM giderilme verimi ise % 88.8'dir.

Çalışma sonunda elde edilen değerler, 13 - 18 °C sıcaklıkta aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battaniyesi reaktörü ile evsel atıksuların arıtımında verimli sonuçlar elde edildiğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battaniyesi, evsel atıksu.

## ABSTRACT

Water shortage is currently one of the biggest concerns of human being world-wide and it becomes a global problem that affects seriously the lives of high numbers of the world population. According to the Kyoto summit in 2003 two billion people will not have access to safe drinking water supplies in the year 2015.

The Mediterranean region belongs to the most affected countries in the world. Given the fact of water shortage crisis in the Mediterranean countries the EMWATER project, which is supported by European Union and managed by InWEnt (Internationale Weiterbildung und Entwicklung), has started in 2004. This project aims to highlight innovative solutions in wastewater treatment and wastewater reuse. The primary outcome of the project will be to install and to increase efficiency and effectiveness in the management of wastewater, its treatment and reuse in Turkey, Jordan, Lebanon and Palestine. The improvement of the security and safety of water supply in the Mediterranean countries is the best recipe for social, economic and political stability in the region and is, thus, the foremost goal of the project.

This study took place in the laboratory of Wastewater Management Department of Technical University of Hamburg - Harburg, Germany during August 2004 – April 2005 within the EMWATER project.

The objective of this study is to investigate the optimum conditions and treatment efficiency of domestic wastewater with Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor.

This study was consisted of two parts. First part is the batch experiment. During the batch experiment, the reactor was fed at once with 100 liters of domestic wastewater from Eissendorfer Street, Hamburg-Hamburg, Germany and besides the water inside of the reactor was recirculated. The specific goal of this study is, to determine the long-term biodegradability of the domestic wastewater.

The second part was carried out as feeding experiment. During this part, the UASB was fed with fresh wastewater as continuously. The aim of this part is to prove that the UASB reactor is to obtain optimum conditions of UASB reactor and its efficiency for an anaerobic treatment of domestic wastewater at low temperatures in the range of 13 - 18 °C.

Biodegradability, which is calculated from initial and last values of COD original and filtered are respectively; 90.4 % and 68.66 %. Removal efficiency of TSS is 88.8 %.

Regarding the efficiency results of the experiments, it is proved that the Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor is efficient for an anaerobic treatment of domestic wastewater at low temperatures (in the range of 13 - 18 °C).

**Keywords:** Upflow anaerobic sludge blanket reactor, domestic wastewater.

## 1. GİRİŞ

Yeryüzündeki tüm canlılar için yaşamın temel kaynağı olan su giderek tükenmektedir. Dünyamızın %70'i sularla kaplı olmasına rağmen, tatlı su kaynakları bunun yalnızca %2,5'idir. Bugün yeryüzü nüfusunun beşte biri su kaynaklarının yanlış kullanımı, kirlilik, alan kaybı gibi nedenlerden dolayı sağlıklı, temiz ve içilebilir suya sahip değil. Günümüzde yaklaşık 1,3 milyar kişi su sıkıntısı çekmektedir. Gelecek 25 yılda bu sayının 2 katına çıkacağı tahmin ediliyor.

Dünya nüfusunun % 40'ını barındıran 80 ülke şimdiden su sıkıntısı çekmektedir. 1940 - 1980 yılları arasında su kullanımı iki katına çıkmıştır. Nüfusun hızla artması, buna karşılık su kaynaklarının sabit kalması sebebiyle su ihtiyacı her geçen gün artmaktadır.

Ülkemizde ise tatlı su kaynakları oldukça sınırlıdır ve ihtiyaca ancak cevap vermektedir. Türkiye'nin kullanılabilir su potansiyeli 110 milyar m<sup>3</sup> olup, bunun %16'sı içme ve kullanmada, %72'si tarımsal sulamada, %12'si de sanayide tüketilmektedir [1].

Türkiye su kıtlığı çeken ülkeler arasında yer almamakla birlikte, hızlı nüfus artışı, kirlenme ve yıllık yağış ortalamasının dünya ortalamasından düşük olması; mevcut kaynakların daha dikkatli kullanılmasını ve kirlenmeye karşı gerekli tedbirlerin bir an önce alınmasını gerektirmektedir.

Gerek yerleşim merkezlerinin, gerek türlü sanayi ve enerji üretim tesislerinin ve gerekse insanların diğer faaliyetlerinden dolayı sayılamayacak kadar çok kirletici madde kullanılmış sularla beraber doğaya iade edilmeden önce, onları doğaya zarar vermeyecek hale getirmek, yani arıtmak gerekmektedir. Bu amaca yönelik havalı (aerobik) ve havasız (anaerobik) olmak üzere birçok arıtma sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı olan evsel atıksuların arıtılmasında ise anaerobik sistem kullanılmıştır.

Anaerobik arıtma alanındaki son gelişmeler, anaerobik arıtmanın kuvvetli atıksuların yanı sıra düşük organik madde içerikli atıksularda da başarı ile uygulanabileceğini ortaya koymuştur. Anaerobik arıtma kullanışlı, basit ve ekonomik bir proses olup evsel atıksuların arıtımında kolayca uygulanabilme özelliğine sahiptir (Tönük, 2004).

Evsel atıksuların anaerobik arıtımı ile ilgili uygulamalar organik endüstriyel atıksulara göre oldukça sınırlı kalmıştır. Dünyanın ilk kurulu evsel atıksu deneme tesisi 1989 yılında Hindistan'ın Kanpur kentinde aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battaniyesi (AAÇB)

işletime alınmıştır. Kurulduğu tarihten bu yana başarıyla çalışan bu tesis, Hollanda - Hindistan işbirliğiyle yapılmış olup; kapasitesi 5,000 m<sup>3</sup>/gün'dür. Yine aynı işbirliği çerçevesinde, 14,000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Mirzapur ve 36,000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Kanpur projeleri gerçekleştirilmiştir. Bu projelerde evsel atıksular deri endüstrisi atıksuları ile birlikte arıtılmaktadır. Bu güne kadar evsel atıksuların anaerobik arıtımı alanında mevcut kurulu tesisler çoğunlukla aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battaniyesi (AAB) olarak inşa edilmişlerdir (Öztürk, 1999).

Güvenilir suyun erişilmesinin güç olduğu gelişmekte olan ülkelerde, içme suyu olarak kullanılabilen yüzeyel suların mümkün olduğa temiz tutulması gerekmektedir. Bu yüzden, sudan kaynaklanabilecek hastalıkların önlenmesi amacıyla mikroorganizmalar uzaklaştırılmalıdır. Çoğu biyolojik arıtma sistemleri, mikroorganizmaların uzaklaştırılmasında yetersiz kaldığı için dezenfeksiyon, UV ile arıtma gibi ekstra sistemlere de ihtiyaç duyulmaktadır.



## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battanitesi (AAÇB) işleminin oldukça yeni gelişmiş bir teknoloji olmasına rağmen, bilim adamlarınca konuyla alakalı birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde AAÇB prosesi ile ilgili araştırmalara yer verilmiştir.

Yapılan araştırmalar AAÇB prosesinin tropikal ve yarı tropikal bölgelerde, ılıman iklimlere göre daha iyi bir verimle çalıştığını göstermiştir (Haandel ve Lettinga, 1994). Tropikal ülkelerde AAÇB reaktörü oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Kolombiya, Brezilya, Endonezya, Hindistan ve Mısır'da halen çalışmakta olan yüzlerce arıtma tesisinden ortalama % 70 oranında kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi sağlanmaktadır (Souza ve Foresti, 1996; Chernico ve Cradoso, 1999; Kalogo ve Verstraete, 2000). Bu sistemlerin çıkış suyu kalitesi ise ortalama olarak 140 mg KOİ/l, 75 mg BOİ/l ve 30 mg TAKM/l şeklinde belirtilmiştir (Lew vd., 2003).

AAÇB reaktörleri çoğunlukla evsel atıksuların arıtılmasında kullanılmaktadır (Torres ve Foresti, 2001). Bilim adamlarının yaptıkları araştırmalara göre, elde edilen toplam KOİ/BOİ, çözülmüş KOİ/BOİ, TAKM, TKN ve  $PO_4^{3-}$ , P giderimi sırasıyla % 60 – 80, %75 – 85, % 70 - 80 %, % 10 – 25, ve % 10 – 20'dir. (GTZ, 1997).

Chernicharo ve Nascimento'nun 2001 yılında yayınlamış oldukları bilimsel araştırmaya göre, organik yüklemenin  $3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{gün}$ 'den küçük olduğu ve hidrolik alıkonma süresinin (HAS) 6 - 10 saat olduğu sistemlerde elde edilen KOİ giderimi tatmin edici değerdedir.

Çizelge 2.1 ve 2.2, evsel atıksuların AAÇB reaktörü kullanılarak arıtılmasında işletilen pilot tesis ve tam ölçekli arıtma tesisleri ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalarını içermektedir.

Çizelge 2.1 Pilot tesislerde AAÇB reaktörü ile yapılan çalışmalar

Atıksu Türü	Tesis Türü	V (m <sup>3</sup> )	T (°C)	pH	HAS (saat)	OY (kg KOİ/m <sup>3</sup> ·gün)	v (m/sa)	KOİtot.giriş (mg/l)	TAKMgiriş (mg/l)	Uzaklaştırma (%)		Kaynak
										KOİtot	TAKM	
Evsel atıksu	Pilot tesis	0,002	20	6,9-7,1	24	-	-	696	210	85	89	Ruiz vd.,(1998)
					8	-	-			73	80	
					5	3	-	-			53	63
Evsel atıksu	Pilot tesis	0,416	-	-	4	3,8	1,4	521	-	> 70	-	Chemicharo ve Nascimento, (2001) <sup>(***)</sup>
Evsel atıksu	Pilot tesis	0,15	19-23	7,4	6	-	-	569	131	65	66	Torres ve Forresti, (2001) <sup>(****)</sup>
Evsel atıksu	Pilot tesis	0,5	21,6	-	6	0,73	0,43	152,6	-	58,1-68,9	-	Seghezze vd., (2002)
Siyah atıksu	Pilot tesis (AAÇB/septik tank sistemi)	0,4	22-28	7,5	16	-	0,12	1013	715	76	58	Al-Juaidy vd.,(2003)
Evsel atıksu	Pilot tesis	0,0053	28	-	3	-	0,35	150	0,13	82	10	Lew vd.,(2003)
			20	-	3	-	0,35			75	5	
			14	-	3	-	0,35			68	5	
			10	-	3	-	0,35			44	-	
Evsel atıksu	Pilot tesis	6	30	-	-	-	-	527	-	69 <sup>(*)</sup>	-	Tawfik vd., (2003) <sup>(*****)</sup>
Evsel atıksu	Pilot tesis	0,0104	25-35	7,6	-	0,89	-	445	-	78	-	Tönük, G., (2004)
Evsel atıksu	Pilot tesis	20	4-18	-	8,7-15	0,4-0,9	-	-	-	24-54	43-64	<sup>(**)</sup>
Evsel atıksu	Pilot tesis	35	23-27	-	5	-	-	-	-	66	70	<sup>(**)</sup>
Evsel atıksu	Pilot tesis <sup>(a)</sup>	200	-	-	12	0,7	-	-	-	49-78	68	<sup>(**)</sup>

Çizelge 2.1'de bulunan verilere göre, evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan AAÇB reaktöründen oluşan pilot tesislerde, organik yük  $0.73 - 3.8 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{gün}$ , atıksuyun reaktör içinde aşağıdan yukarıya akış hızı  $0.12 - 1.4 \text{ m/saat}$  olup, hidrolik alıkonma süresi (HAS) 3 - 24 saatleri arasındadır.

Laboratuvar ölçekli bu arıtma tesislerinde,  $4 - 35 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığında yapılan çalışmalarda elde edilen  $\text{KOI}_{\text{tot}}$  ve TAKM giderilme oranları sırasıyla; % 24 - 85 ve % 5 - 89'dur.

---

(\*) Elde bulunan verilerden hesaplanmıştır.

(\*\*) Alaerts vd., 1993'ten alınmıştır.

(\*\*\*) AAÇB/Damlatmalı filtre sisteminin sadece AAÇB reaktörüne ait verim sonuçları

(\*\*\*\*) AAÇB/SBR sisteminin sadece AAÇB reaktörüne ait verim sonuçları

(\*\*\*\*\*) AAÇB/RBC sisteminin sadece AAÇB reaktörüne ait verim sonuçları

(a) Anaerobik filtre/AAÇB sistemi

Çizelge 2.2 Tam ölçekli tesislerde AAÇB reaktörü ile yapılan çalışmalar

Atıksu Türü	Tesis Türü	V (m <sup>3</sup> )	T (°C)	pH	HAS (saat)	OY (kg KOI/m <sup>3</sup> ·gün)	v (m/sa)	KOİfot.giriş (mg/l)	TAKMgiriş (mg/l)	Uzaklaştırma (%)		Kaynak
										KOİfot	TAKM	
Eysel atıksu	Tam ölçekli	64	25	-	8	-	1	239	170	67	78	Haskoning, (1989)
Düşük konsantrasyonlu atıksu (***)	Tam ölçekli	120	20-22	-	4,4	-	0,4	400	236	53	55	Vieira ve Garcia, (1991)
					8,8			407	195	65	75	
Eysel atıksu	Tam ölçekli	67,5	16 (K) 23 (Y)	-	7	3 (**)	1,25	402	379	74	87	Vieira vd.,(1994)
Eysel atıksu	Tam ölçekli	810	30,2	7,2	9,7	1,404	0,52	563	204	67	60 (*)	Florencio vd., (2001)
Kuvvetli eysel atıksu	Tam ölçekli	60	22	-	23-27	1,4-1,6	0,19-0,22	1429	404	58	62	Halalshet vd.,(2002)
Kuvvetli eysel atıksu	Tam ölçekli	60	24	-	23	1,47	0,1	1412	451	57	64	Halalshet vd.,(2002)
Eysel atıksu	Tam ölçekli	2x149	24,5	6,63	7,76		1,1-1,29 (*)	649,18	203,61	55,54	31,9	Correa vd.,(2003)
Eysel atıksu	Kanpur 5 MLD <sup>#</sup> Tam ölçekli	3x1200	20-30	-	6	2-5	0,83	706	540	61	44	(****)
Eysel atıksu	Mirzapur 14 MLD <sup>#</sup> Tam ölçekli	2x2400	-	-	8	0,3		411	360	81	87	(****)
Eysel atıksu	Bucaramanga 42 MLD <sup>#</sup> tam ölçekli	3x3350	24	-	5			595		72	70	(****)

Çizelge 2.2'de bulunan verilere göre, evsel atıksuların arıtılmasında kullanılan AAÇB reaktöründen oluşan tam ölçekli tesislerde, organik yük  $0.3 - 5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{gün}$ , atıksuyun reaktör içinde aşağıdan yukarıya akış hızı  $0.1 - 1.29 \text{ m/saat}$  olup, hidrolik alıkonma süresi  $4.4 - 27$  saatleri arasındadır.

Tam ölçekli bu arıtma tesislerinde,  $16 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta yapılan çalışmalarda elde edilen  $\text{KOI}_{\text{tot}}$  ve TAKM giderilme oranları sırasıyla;  $\% 55 - 81$  ve  $\% 32 - 87$ 'dir.

---

(\*) Elde bulunan verilerden hesaplanmıştır.

(\*\*) Halalsheh, 2002'den alınmıştır.

(\*\*\*) Düzenli çamur deşarjlı, tek üniteli AAÇB reaktörü

(\*\*\*\*) Journey ve McNiven, 1996'dan alınmıştır.

# MLD= milyon litre/gün

(K)= Kış

(Y)= Yaz

### 3. GENEL BİLGİ

#### 3.1 Atıksu Arıtma Yöntemleri

Atıksu bünyesinde kirliliğe neden olan yabancı maddeler, tane boyutlarına göre çökebilir, askıda, koloidal ve çözünmüş halde bulunabilirler. Her madde grubu değişik metotlarla uzaklaştırılabilirler.

**Fiziksel arıtma:** Çökeltme ve flotasyon işlemleriyle çökebilen veya yüzebilen tanecikler ayrılmaktadır.

**Kimyasal Arıtma:** Kimyasal metotlar (koagulant ekleyerek) kullanılarak fiziksel arıtım işlemleri sonrası uzaklaştırılmamış, suda çözünmüş halde bulunan kirliticilerin uzaklaştırılmasını sağlayan sistemdir.

**Biyolojik Arıtma:** Atıksuda mevcut olan organik esaslı katı maddelerin mikroorganizmalar tarafından parçalanması ile atıksudan uzaklaştırılması işlemidir



Şekil 3.1 Atıksu arıtma yöntemleri

### 3.2 Atıksu Çeşitleri

Atıksuların deşarj edildiği alıcı ortam herhangi bir akarsu, göl veya deniz olabilir. Alıcı ortamın kirlenmesine neden olabilecek kaynaklar oldukça fazladır. Bu kaynakların en önemlileri aşağıda verilmiştir.

1. *Evsel atıksular*: Yerleşim merkezlerinden deşarj edilen ve endüstriyel atıksu içermeyen kirlenici kaynaktır.
2. *Endüstriyel atıksular*: Çoğunlukla endüstrilerden deşarj edilen atıksulardır.
3. *Yaygın kirlenici kaynaklar*: Yukarıda sıralanan kaynaklar alıcı ortama bir noktadan atılmakta ve böylece kontrolleri nispeten kolay olmaktadır. Ancak tarım alanlarından, ormanlık alanlardan, yağmurlardan sonra akan sular genellikle bir kanalizasyona toplanmadan, serbestçe yüzeyden veya yeraltından akarak alıcı ortama erişmektedirler.

Bu çalışmada Almanya'nın Hamburg kentinde bulunan Eissendorfer Caddesi'ndeki yerleşim birimlerinden toplanan evsel atıksu arıtılmak üzere kullanılmıştır.

### 3.3 Evsel Atıksular

Evsel atıksular, askıda, kolloidal ve çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler ihtiva eder. Atıksuyun konsantrasyonu, kullanılan suyun kirlenmeden önceki orijinal konsantrasyonuna ve suyun kullanılış amacına bağlıdır. Gerek iklimsel şartlar, gerekse de insanların yaşam standartları ve kültürleri atıksu karakteristiğini önemli ölçüde etkiler. Evsel kanalizasyonlara endüstriyel atıkların kabulü, mevcut evsel atıksu özelliklerini oldukça değiştirir. Konsantrasyonlar kişi başına günlük su kullanımı değerlerine bağlı olarak da değişir. Her ne kadar suya deşarj edilen atık miktarı toplumların özelliklerine göre farklılıklar gösterse de, bu fark çok yüksek değildir. Dolayısıyla atıksu karakteristikleri sadece şehirden şehre değil, ele alınan her bir yerleşim birimi için mevsimden mevsime, hatta saatten saate bile değerlik gösterir.

Çizelge 3.1'de ham, yani hiç arıtılmamış ve bir işleme tabi tutulmamış evsel atıksu özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.1 Evsel atık su karakteristikleri

Parametre	Ham evsel atıksu değeri (g/kişi-gün) <sup>(*)</sup>	Türkiye evsel atıksu değeri (mg/l) <sup>(**)</sup>	Almanya evsel atıksu değeri (mg/l) <sup>(***)</sup>
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, 5 günlük, 20 °C (BOİ <sub>5</sub> )	45 – 54	200 – 360	120 – 1000
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	1.6–1.9 x BOİ <sub>5</sub>	360 – 570	280 – 2500
Toplam organik karbon (TOK)	0.6–1.0 x BOİ <sub>5</sub>	150 – 220	-
Toplam katı maddeler (TKM)	170 – 220	800 – 1100	-
Askıda katı maddeler (AKM)	70 – 145	350 – 750	160 – 1350
Toplam azot, N	6 – 12	30 – 60	-
Organik azot	~ 0.4xtoplam N	12 – 24	-
Toplam fosfor, P	0.6 – 4.5	3 – 22	4 – 50
Organik fosfor	~ 0.3 x toplam P	1 – 7	-

(\*) Arceivala, 1998.

(\*\*) EMWATER projesi dahilinde hazırlanan “Türkiye’de atıksuyun etkin yönetimi ve geri kullanımı” çalışmasından alınmıştır.

(\*\*\*) [2]

Çizelge 3.1'den de görüleceği gibi, evsel atık sular çok büyük oranda karbon, azot, fosfor gibi organik besinlerden oluşmaktadır. Bunlar hemen çürümeye müsait olup, kanallarda akarken dahi biyolojik bozunmaya devam eder. Böylece zaman içinde atık suyun bazı özellikleri de değişmektedir.

### 3.4 Anaerobik Arıtmaya Genel Bakış

Anaerobik arıtma, organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik süreçlerle parçalanmak suretiyle, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi son ürünlere dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. Organik çökeltilerin çürümesi sonucu CH<sub>4</sub> ortaya çıktığı 18. yüzyıldan beri bilinmektedir. 19. yüzyılın ortalarında bu ayrışmada bakterilerin rol oynadığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte havasız arıtmanın evsel atıksu arıtma tesis çamurlarının çürütülmesinde kullanılabileceği 1881 yılında ortaya konmuştur (Moigno, 1882; Haandel ve Lettinga, 1994). Yakın zamana kadar sadece biyolojik arıtma çamurlarının çürütülmesinde uygulanan havasız arıtma süreci, son yıllarda endüstriyel ve evsel atıksuların arıtılmasında da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Aerobik sistemler enerji maliyetlerinin hızla artmaya başladığı 1970'li yıllara kadar atıksu arıtımında en çok kullanılan sistemler idi. Artan enerji maliyetleri, mevcut arıtma sistemlerinin yatırım ve işletme giderleri bakımından yeniden incelenmesini gündeme getirmiş ve bunun sonucu olarak da havasız arıtma sistemleri geliştirilmiştir.

Anaerobik arıtmanın tercih edilmesini gerektiren diğer sebepler şunlardır (Öztürk, 1999):

- KOİ >1500 mg/l olan atıksuların anaerobik arıtımı, aerobik arıtmaya göre önemli oranda daha ekonomiktir.
- Anaerobik arıtma ile enerji tüketilmez, biyoenerji (biyogaz) üretilir. Özellikle kuvvetli atıkların arıtımında, anaerobik arıtma adeta bir enerji jeneratörü görevi üstlenir. Anaerobik arıtma yoluyla 1000 kg KOİ giderimi sonunda 2700 kw-sa eşdeğeri net enerji üretilebilir.
- Anaerobik arıtma sistemlerinde oluşan biyolojik çamur miktarı havalı sistemlere göre çok azdır. Genelde aerobik arıtmaya giren 100 g organik karbondan (TOK) yaklaşık 50 g biyolojik çamur oluştuğu halde anaerobik arıtmada buna karşı ortaya çıkan biyolojik çamur miktarı 1 - 5 g civarındadır. Dolayısıyla anaerobik arıtmada giderilen organik karbonun %90 - 98'i biyogaza (CH<sub>4</sub>) dönüştürülür.

- Anaerobik arıtmanın mekanik ekipman maliyeti daha düşüktür.
- Çok farklı reaktör kapasitelerinde arıtma verimleri değişmeksizin kullanılabilirler.
- Anaerobik arıtma, onu takip eden basit aerobik arıtma sistemleri ile birlikte çevre dostu entegre bir arıtma sistemi halinde uygulanabilirler. Bu tür uygulama ile arıtılmış atıksularla balık yetiştirilip, hayvan yemi üretildiği gibi, kükürt geri kazanılabilir, ayrıca zirai sulama yoluyla amonyum ( $\text{NH}_4$ ) ve fosfat ( $\text{PO}_4$ ) tuzları gübre olarak değerlendirilebilir.

Anaerobik arıtmanın birçok üstünlüğü yanında, bir kısmı atık türüne de bağlı olmak üzere, bazı kısıtlamaları da bulunmaktadır. Başlıca dezavantajları:

- İşletmeye alma devresinin daha uzun olması
- Seyreltik ve karbonhidratlı atıklarda düşük alkaliniteye bağlı ilave alkalinite ihtiyacı
- Bazı hallerde yüzeysel sulara deşarj kriterlerinin sağlanamaması (Toplam N, P)
- Seyreltik atıklarda üretilen metanın reaktörlerin 35 °C' de ısıtılması için yeterli olmayışı
- Sülfatlı atıksularda  $\text{H}_2\text{S}$  ve koku problemi
- Klorlu organiklerin anaerobik arıtmada, aerobik arıtmaya göre daha zararlı oluşu
- Düşük sıcaklıklarda arıtma hızının düşük oluşu

### 3.4 Anaerobik Ayrışmayı Etkilen Çevresel Faktörler

Anaerobik ayrışmayı etkileyecek önemli çevresel faktörler; sıcaklık, pH, giriş suyunda besi maddelerinin varlığı ve yüksek konsantrasyonda toksik bileşenlerin bulunması. Evsel atıksu arıtımında son iki faktör dikkate alınmaz. pH kararlılığı, karbonik sistemin varlığı sonucu sağlanmaktadır. Dolayısıyla pH ayarlamak için herhangi bir kimyasal kullanmaya gerek yoktur. Besi maddeleri (makronutrientler, azot, fosfor ve mikronutrientler) atıksularda bol miktarda bulunmaktadır. Bakteri popülasyonunu etkileyecek toksik bileşenlere ise evsel atıksularda rastlanmaz.

#### 3.4.1 Sıcaklık

Diğer biyolojik arıtma işlemlerinde olduğu gibi, anaerobik ayrışma da sıcaklığa bağlıdır. Yapılan araştırmalara göre, tropikal ( $T > 20$  °C) ve yarı tropikal ( $T > 15$  °C) bölgelerde

gerçekleştirilen anaerobik arıtmadan alınan verim, ılıman – soğuk iklimlerde ( $T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) alınan verimden oldukça fazladır (Haandel ve Lettinga, 1994).

### 3.4.2 pH

Metan üretimini sağlayan, metan bakterileri için optimum pH aralığı 6.3 – 7.8 kabul edilir. Bu aralıkta bulunmayan pH' larda metan bakterilerinin aktiviteleri azalmaktadır (Haandel ve Lettinga, 1994) (Öztürk, 1999).

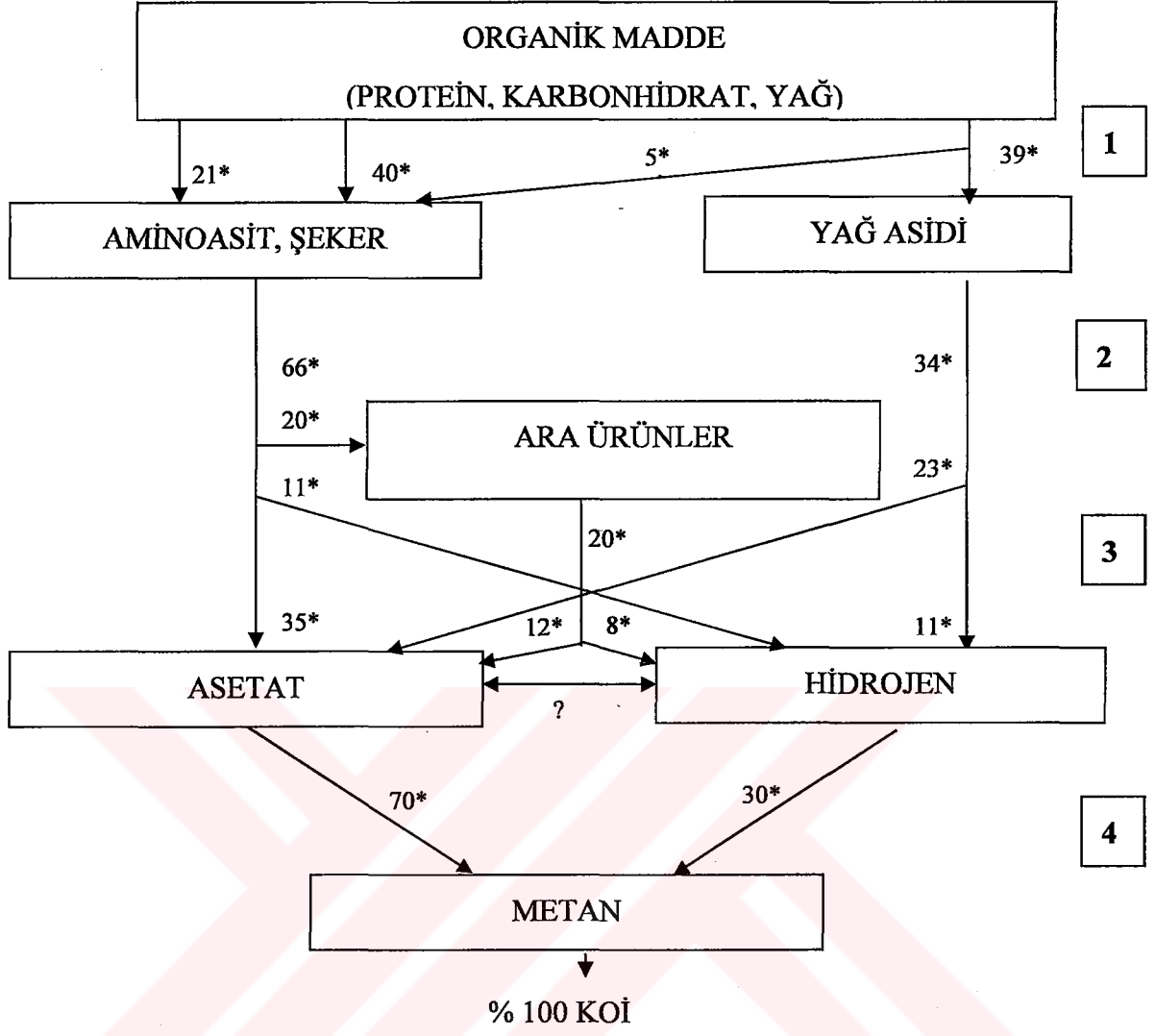
### 3.4.3 Toksik Bileşenler

Anaerobik ayrışma, hidrojen iyon konsantrasyonunun yanısıra, eser miktarda bulunan ağır metal ve organik klor bileşikleri de dahil olmak üzere, sayısız bileşikten etkilenebilir. Ancak, bu bileşenlere evsel atıksularda rastlanmamaktadır. Bu bileşikler kükürt de içerebilirler. Ancak, Rinzema (1989)' nın kükürt ile ilgili yaptığı araştırmalara göre, anaerobik ayrışmada rastlanabilecek kükürt konsantrasyonu kabul edilebilen maksimum değer olan 50 mg/l' nin altındadır. Bu sebeple, evsel arıtmada toksik bileşikler sorun teşkil etmeyebilirler.

## 3.5 Anaerobik Ayrışma Prosesi

Anaerobik arıtma, organik atıkların, oksijensiz ortamda çeşitli tür mikroorganizmaların bir arada faaliyeti sonucu parçalanarak  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{S}_2$  ve  $\text{NH}_3$  gibi son ürünlere dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucu çeşitli yükseltgenme/indirgenme kademesinde yer alan karbonlu besi maddeleri en fazla yükseltgenmiş ( $\text{CO}_2$ ) ve en fazla indirgenmiş ( $\text{CH}_4$ ) kademedeki karbonlu moleküllere çevrilir. Bu ürünler, termodinamik olarak atmosferik basınçta en fazla kararlı durumdadır. Ekosistemde ışık ve nitrat veya oksijen gibi elektron alıcı mevcut değilse daha fazla ayrışma uğramayacaktır.

Organik maddelerin mikroorganizmalarca anaerobik ayrışma süreci başlıca dört aşamada gerçekleşir ve Gujer ve Zehnder (1983) tarafından Şekil 3.2'deki gibi ifade edilmiştir:



Şekil 3.2 Organik maddelerin mikroorganizmalarca anaerobik ayrışma prosesi (Gujer ve Zehnder, 1983)

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

\* ile belirtilen yerlerde organik maddelerin mikroorganizmalarca anaerobik ayrışması sonucu oluşan % KOİ üretimi verilmiştir.

### 3.5.1 Hidroliz

Hidroliz, hücre dışı enzimlerle gerçekleştirilen oldukça yavaş bir süreçtir. Reaksiyon hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve çamur yaşı (mikroorganizma bekleme süresi) dir.

Hidroliz, kompleks halde bulunan maddelerin daha düşük molekül ağırlıklı çözünebilir maddelere dönüşmesi işlemidir. Proteinler aminoasitlere, karbonhidratlar mono ve disakkaritlere, yağlar da uzun zincirli yağ asitlerine ve gliserine dönüşürler. Hidroliz tüm anaerobik prosesin hız belirleyici basamağı olarak kabul edilir.

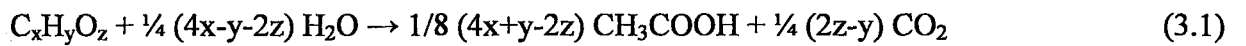
### 3.5.2 Asit Üretimi

Asit üretimi safhasında, hidroliz ürünleri asetik asit veya reaktördeki işletme şartlarının kararlı olması halinde, propiyonik, butirik, izobutirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürülür. Anaerobik reaktörlerin işletmeye alma safhasında uçucu asit konsantrasyonunun 1000 – 1500 mg HAc/l' yi geçmemesi arzu edilir (Öztürk, 1999).

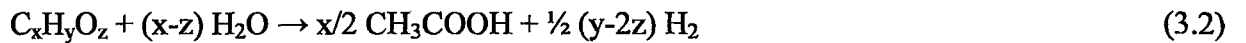
### 3.5.3 Asetat Üretimi

Asit üretimi esnasında oluşan propiyonat, butirat ve valerat gibi ürünler metanojenik bakteriler için uygun besi maddeleridir. Bu besi maddeleri bakteriler tarafından, CH<sub>4</sub> üretimi için gerekli olan CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>, H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'e dönüştürülür. CH<sub>3</sub>COOH aşağıdaki reaksiyonlara göre oluşmaktadır (Haandel ve Lettinga, 1994):

$y < 2z$  ( $N_{el} < 4$ ) olduğu durumda:



$y > 2z$  ( $N_{el} > 4$ ) olduğu durumda:



### 3.5.4 Metan Üretimi

Anaerobik ayrışmada en son basamak metan fermantasyonudur. Metan üretimi, genellikle anaerobik arıtmada hız sınırlayıcı safha olarak kabul edilir (düşük sıcaklıklarda ise hidroliz hız sınırlayıcı basamak olarak kabul edilir). Metan, CH<sub>3</sub>COOH'in parçalanması ve/veya H<sub>2</sub> ile CO<sub>2</sub>'in sentezi sonucu üretilir. Anaerobik reaktörlerde üretilen CH<sub>4</sub>'ın takriben %70'i CH<sub>3</sub>COOH'in parçalanmasından (asetotrofik metan üretimi), %30'u ise H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'den

(hidrojenotrofik metan üretimi) oluşmaktadır (Jeris ve McCarty, 1965). Haandel ve Lettinga (1994) bu reaksiyonları şu şekilde ifade etmiştir:

Asetotrofik metan üretimi:



Hidrojenotrofik metan üretimi:



H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>'den CH<sub>4</sub> üreten bakteriler, asetik asit kullanan bakterilere nazaran çok daha hızlı bir şekilde çoğalmaktadırlar (Henzen ve Harremoes, 1983). Dolayısı ile, ortamda yeterli H<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> olduğu ve H<sub>2</sub> kısmi basıncı da uygun olduğu sürece bu yolla CH<sub>4</sub> üretimi devam eder.

### 3.6 Aşağıdan Yukarıya Akışlı Anaerobik Çamur Battaniyesi (AAÇB) Reaktörü

Aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battaniyesi reaktörü önceleri kompleks olmayan çözünmüş atıkların arıtılması için geliştirilmesine rağmen çok kısa zaman içinde zayıf ayrışan ve çözünmemiş maddelerin önemli bir kısmını içeren daha kompleks atıkların arıtılmasında da başarıyla uygulanmıştır.

Tipik bir AAÇB reaktörü iki kısımdan meydana gelir; biyolojik reaksiyon kısmı ve çökeltme kısmı. Reaksiyon kısmında organik maddeler oldukça aktif olan bir çamur yataktan geçerken CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>'e çevrilir. Çökeltim kısmında ise gaz ve sıvı akımıyla yükselen çamurun çökelti olarak reaktör içine dönmesi sağlanır. Arıtılacak atıksu reaktör tabanından üniform olarak girmekte ve organik maddelerin biyogaz haline dönüştürüldüğü yoğun çamur örtüsünden geçerek en üstteki gaz - katı madde ayırıcısına gelmektedir. Burada katı maddeler çöktürülerek çürütme bölümüne geri dönerken gaz ise katı ve sıvıdan ayrılmaktadır. Biyokütle, gaz kabarcıkları tarafından askı halinde tutulur. Bakteri gelişmesi floklar halinde yukarı doğru akan atıksu akımı içinde meydana gelir. Bu çamur yatağı kendi ağırlığı ve reaktörün üst kısmındaki perdeler yardımıyla reaktör içerisinde alıkonulur.

AAÇB reaktörlerinde yüksek oranda çamur konsantrasyonu sağlamak için gerekli iki temel tasarım parametresinden biri geliştirilmiş çökeltme özelliklerine sahip çamurun bulundurulmasıdır. Çamur çökeltme karakteristiklerinin gelişmesi için çamur yatağında mekanik karıştırılmanın en aza indirilmesi veya kaldırılması gerekmektedir. Yataktaki çamur konsantrasyonu yaklaşık 40 – 70 g UAKM/l' dir. İkinci önemli tasarım parametresi reaktörün üst kısmına gaz-sıvı ayırımı yapan sistemin yerleştirilmesidir. AAÇB reaktörlerde biyokütle

floküle (yumaklaşmış) taneler veya yarıçapı 3-4 mm' nin üstünde granüler (tanecik) olarak bulunur. Sistem giriş suyunun yukarı akımı ve gaz kabarcıklarının yükselmesiyle karıştırılır.

Çamur yataklı reaktörde, uygun işletme parametreleri kullanıldığında farklı tipteki bakterilerin birleşimiyle küresel şekilli granül adı verilen biyoküteller geliştirilebilmektedir. Bu kütlelerin çökelme hızı biyokütellerin boyutlarına bağlı olarak, genellikle 20 – 90 m/saat aralığında değişmektedir. Yükselen biyogaz ise granülleri akışkan halde koruyabilmektedir. Organik bileşenler anaerobik çamur yatakta metabolize olur ve çıkış suyu gaz-sıvı-katı ayırma ünitesinin yardımıyla reaktörü terk eder.

AAÇB reaktörlerde artılacak atığın tipi ve kompozisyonu, atığın kuvveti ve kirlilik yükü, organik yük ve debi değişimleri, organik yükleme, çamur ve hidrolik alıkonma süreleri gibi beslenme ile ilgili pek çok faktör işletim performansına etki etmektedir.

AAÇB reaktörlerden iyi bir verim elde etmek için atıksuyun tabandan üniform dağılımı, biyogazın çamur ve sıvıdan etkili bir şekilde ayırımı ve kolay çökebilir çamur elde edilmesi gerekmektedir.

Şekil 3.3'de basit bir AAÇB reaktörü verilmiştir.



Şekil 3.3 Aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battaniyesi (AAÇB) reaktörü [3]

**AAÇB Tarihi:** AAÇB reaktörü, 1970'li yılların sonuna doğru, Prof. Dr. Gatzte Lettinga ve arkadaşları tarafından Hollanda'da bulunan Wageningen Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. İlk AAÇB arıtma tesisi Hollanda'da bir şeker fabrikasının atıksuyunun arıtımında kullanılmıştır. Bunu takiben, gıda sektörünün yanı sıra birçok endüstri atıksularının arıtılmasında AAÇB reaktörü kullanılmaya başlanmıştır. AAÇB reaktörü ile ilgili ilk yayın, Hollandaca olarak 1971'lerin sonunda yayınlanmıştır. İlk uluslararası yayın ise, 1980'de yayınlanmıştır (Lettinga vd., 1980).

**AAÇB Reaktörünün Performansı:** Frankin (2001) tarafından yapılan son araştırmada, 1970'lerden bu yana, endüstri atıksularının arıtılmasında, dünya çapında 1215 adet yüksek performanslı anaerobik reaktörlerin kullanıldığı arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerin % 72'sinde Prof. Dr. Gatze Lettinga tarafından geliştirilmiş olan AAÇB reaktörü kullanılmaktadır. Bu istatistikler, AAÇB reaktörünün inşa maliyetinin düşük, işletim veriminin yüksek olması açısından da en başarılı işletim olduğunu göstermektedir.

İşletimde olan 682 AAÇB reaktörünün ortalama organik yükü, 10 kg KOİ/m<sup>3</sup>.gün'dür.

Yüksek verimli anaerobik reaktörlerin en çok kullanıldığı alanlar;

- (1) Bira ve meşrubat fabrikaları
- (2) Distilasyon ve fermantasyon endüstrisi
- (3) Gıda endüstrisi
- (4) Kağıt endüstrisi

Bu dört endüstriyel sektör, toplam uygulamaların % 87'sine denk gelmektedir. Bu sektörlerin yanı sıra gelişen AAÇB reaktör uygulamaları, kimyasalların arıtılmasında, petrokimya alanında, tekstil endüstrisinde de artmaktadır.

Tüm bu uygulama alanlarının yanı sıra, AAÇB reaktörü ılıman iklimlerde evsel atıksuların arıtımında da yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang, 1994; Elmitwalli vd., 1998; Zeeman ve Lettinga, 1999).

### 3.7 AAÇB Reaktörü Proses Tasarım Parametreleri

AAÇB reaktörü proses tasarım parametreleri Lettinga ve Hulshoff Pol (1991) tarafından geliştirilmiştir. Dikkat edilmesi gereken önemli tasarım parametreleri:

- (1) Atıksu karakteristiği
- (2) Reaktör boyutları
- (3) Besleme ünitesi
- (4) Çıkış suyu toplama ünitesi
- (5) Gaz - sıvı - katı ayırma ünitesi
- (6) Diğer üniteler

### 3.7.1 Atıksu Karakteristiği

Yabancı madde içeren atıksular, çamur granülasyonunu olumsuz yönde etkilemekle beraber köpük oluşumuna da sebep olabilir. Yüksek oranda protein ve/veya yağ içeren atıksularda yukarıda bahsedilen sorunların oluşma ihtimali daha yüksektir. Atıksuyun içerdiği kimyasal oksijen ihtiyacı (KOl) miktarı hem dizayn parametresi olarak hem de işletim verimi açısından önem taşımaktadır. Katıların atıksu içeriğindeki miktarının artışı, granül çamur oluşumunu azaltmaktadır. 6 g TAKM/l' den fazla katı madde içeren atıksuların arıtılmasında anaerobik işlemler önerilmemektedir (Metcalf ve Eddy Inc., 1979).

### 3.7.2 Aşağıdan Yukarıya Akışlı Anaerobik Çamur Battaniyesi (AAÇB) Reaktörünün Boyutlandırılması

Evsel atıksuların arıtımında kullanılmak üzere tasarlanacak bir AAÇB reaktöründe, hidrolik yük organik yüke oranla daha önemli bir proses tasarım parametresidir. Dolayısıyla, AAÇB reaktörü tasarımı yapılırken hidrolik yük göz önüne alınırken, sistemin performansı kontrol edilirken de organik yük dikkate alınmalıdır.

**Hidrolik alıkonma süresi (HAS):** Bir AAÇB reaktörü için önemli bir parametre hidrolik alıkonma zamanıdır. Bu parametrenin neden bu kadar önemli olduğu henüz açıklığa kavuşmamış olmasına rağmen, yapılan araştırmalara göre, sıcaklığın 18 °C' den yüksek olduğu tropikal ve yarı tropikal bölgelerde tek üniteli AAÇB reaktörü ile tatmin edici bir arıtma verimi alınabilmesi için ortalama alıkonma süresi 6 saat olmalıdır. Sıcaklığın 10 – 12 ° C olduğu iklimlerde ise hidrolik alıkonma süresinin 12 - 14 saate çıkarılması gerekmektedir (De Man, 1990; Van der Last, 1991).

Hidrolik alıkonma süresi aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanabilir (Haandel ve Lettinga, 1994):

$$V_r = Q_i \times (HAS) \quad (3.5)$$

$V_r$  = Reaktör hacmi

$Q_i$  = Ortalama debi

(HAS) = Hidrolik alıkonma süresi

Reaktör hacminin yaklaşık 1000 m<sup>3</sup>'ü aştığı durumlarda birden fazla ünitelerden oluşan AAÇB reaktörü inşa etmek daha faydalıdır. Bu yapım maliyetini azaltmakla beraber, işletmeyi de kolaylaştıracaktır ve bir ünitenin bozulması halinde diğer ünitenin işleme devam etmesiyle

birlikte oluşacak sorunları da azaltacaktır.

Kuvvetli atıksularda çamur yatağı, seyreltik atıksularda ise çamur örtüsü arıtmada ağırlıklı rol oynamaktadır. Biyokütlenin yıkanmasına sebep olan hidrolik alıkonma süresi aşılmadığı müddetçe yüksek bir arıtma verimi elde etmek mümkündür. Uygun işletme koşullarında yüksek konsantrasyonlardaki askıda katı madde içeren atıksuların arıtılması da başarıyla uygulanmaktadır.

İyi yumaklaşmış veya granüler çamur ihtiva eden AAÇB reaktörlerde çok düşük hidrolik alıkonma süreleri elde edilebilmektedir.

Bu çalışmanın birinci kısmında ortalama hidrolik alıkonma süresi 19, ikinci kısmında ise 24 saat olarak hesaplanmıştır.

**Reaktör yüksekliği:** AAÇB reaktörü için bir diğer önemli parametre de reaktörün yüksekliğidir. Uygun yükseklik seçimi, reaktörden beklenen performansa ve yapım için ayrılan maliyete bağlıdır. Yüksekliğin artmasıyla reaktöre ayrılacak alan da azalmaktadır. AAÇB reaktöründen evsel atıksu arıtımında iyi bir verim alınabilmesi için gereken optimum yükseklik 4.5 - 5.0 m (Arceivala, 1998). Daha yüksek konsantrasyona sahip atıksular için daha yüksek reaktör kullanılması tercih edilmelidir.

Bu çalışmada kullanılan AAÇB reaktörünün yüksekliği 3.0 m' dir.

Diğer bir önemli dizayn parametresi ise AAÇB reaktörünün besleneceği kısım olan alt tarafının yüksekliğidir. Alt kısmının çok yüksek olmaması durumunda, reaktör atıksu ile beslenirken pompa kullanılmasına gerek kalmaz.

Reaktör yüksekliği, organik maddelerin uzaklaştırılmasının veriminde de önemli rol oynar.

**Aşağıdan yukarıya akış hızı:** Akış hızı doğrudan doğruya reaktörün yüksekliğine bağlıdır. Arıtım için gerekli çamur yatağının AAÇB reaktöründe tutulabilmesi için akış hızının belli bir değeri geçmemesi gerekir. Aksi takdirde çamur da arıtılmış olan su ile deşarj edilebilir ve çıkış suyunun kalitesini düşürür. Öte yandan, yüksek akış hızı sistem içerisinde türbülansa neden olabilir ve biyolojik çamur ile atıksu arasındaki teması azaltarak, arıtma veriminin düşmesine sebep olabilir.

Aşağıdan yukarıya akış hızı ile AAÇB reaktörünün yüksekliği arasındaki bağıntı aşağıda verilmiştir (Haandel ve Lettinga, 1994):

$$v_1 = Q_i / A = V_r / [(HAS) \times A] = H / (HAS) \quad (3.6)$$

$v_1$  = Aşağıdan yukarıya akış hızı

$Q_i$  = Ortalama debi

$A$  = AAÇB reaktörünün yüzey alanı

$V_r$  = Reaktör hacmi

(HAS) = Hidrolik alıkonma süresi

$H$  = AAÇB reaktörünün yüksekliği

Konvansiyonel bir AAÇB reaktörü ile evsel atıksu arıtımında, günlük ortalama akış hızı 1 m/saat'i geçmemelidir (Haandel ve Lettinga, 1994). Bu çalışmanın birinci kısmında ortalama akış hızı 0.21, ikinci kısmında ise 0.15 m/saat'tir.

### 3.7.3 Besleme Ünitesi

Besleme ünitesi, üniform dağılımı sağlamalı ve sistem içinde kanallaşmayı engellemelidir. Kanallaşmanın önlenmesi seyreltik atıksuların arıtılmasında, çamur yatağındaki karışımı sağlayacak gaz miktarının üretiminin azalmasına sebep olması açısından oldukça önemlidir. Besleme üniteleri, AAÇB reaktörünün alt kısmında bulunmaktadır. Herhangi bir tıkanıklığı temizlemek açısından ünitelere ulaşmak kolay olmalıdır (Haandel ve Lettinga, 1994).

### 3.7.4 Çıkış Suyu Toplama Ünitesi

Çıkış suyu AAÇB reaktörünün üst tarafından mümkün oldukça üniform şekilde toplanmalıdır. Çoğu AAÇB reaktörlerinde yerçekimi prensibine bağlı olarak çalışan çöktürücü üniteler kullanılır.

### 3.7.5 Gaz – Sıvı – Katı Ayırma Ünitesi

AAÇB reaktörünün üst kısmı çamur örtüsünden ayrılan partiküllerin yıkanıp kaçışını en aza indirmek için gaz - katı ayırıcı ile donatılmalıdır. Bu ayırıcının kullanım amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- (1) Biyogazı yüzen partiküllerden ve sıvıdan ayırmak,
- (2) Çamur yumaklaşması için elverişli şartlar meydana getirmek,
- (3) Herhangi bir mekanik alet kullanmaksızın çamurun çürütücü bölümüne geri dönmesine imkan vermek.

Gaz toplayıcılardaki gaz - sıvı ara yüzey alanı çamur parçacıklarından ve sıvıdan gazın ayrılmasını sağlayacak yeterli büyüklükte, ancak köpük tabakasının oluşmasını önlemek için yeterli küçüklükte olmalıdır. Çamurun geri dönüşüne izin verebilecek çöktürücü duvarının eğimi 50 – 60 ° olmalıdır.

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

### 3.7.6 Diğer Üniteler

**Farklı derinliklerde çamur örneği alma noktaları:** Çamur konsantrasyonu ve aktivitesi hakkında bilgi alabilmek açısından, reaktör içinde farklı derinliklerden çamur örneği alınmalıdır. Bu örnek alma noktaları, reaktör inşa edilirken hazırlanmış farklı yüksekliklerdeki açıklıklar olabilir.

**Çamur tahliye ünitesi:** Prensip olarak, reaktör içindeki çamur miktarının artması çıkış suyunun kalitesinin artmasını sağlamaktadır. Belli bir çamur yüksekliğine sahip olmanın yanı sıra, dikkat edilmesi gereken nokta, bu çamurun askıda katı maddeler tarafından doyurulmuş olması olasılığıdır. Bu reaktörde karşılaşılacak istenmeyen bir durumdur. Çamur askıda katı madde tarafından doyduğu andan itibaren yeni oluşan çamur sistemden yıkanmak suretiyle dışarı atılacaktır ve bu da çıkış suyu kalitesini düşürecektir. Bu sebepten dolayı reaktörden istenen verimi elde etmek için çamur belli aralıklarda tahliye edilmelidir.

Cavalcanti ve arkadaşlarının 1999 yılında yapmış olduğu bir araştırmada, çamur tahliye periyodunu etkileyebilecek işletme parametreleri şöyle belirtilmiştir:

- (1) Uygulanan organik yük
- (2) Hidrolik alıkonma süresi
- (3) Reaktörün sahip olabileceği maksimum ve minimum çamur miktarının belirlenmesi
- (4) Üretilen çamur türü

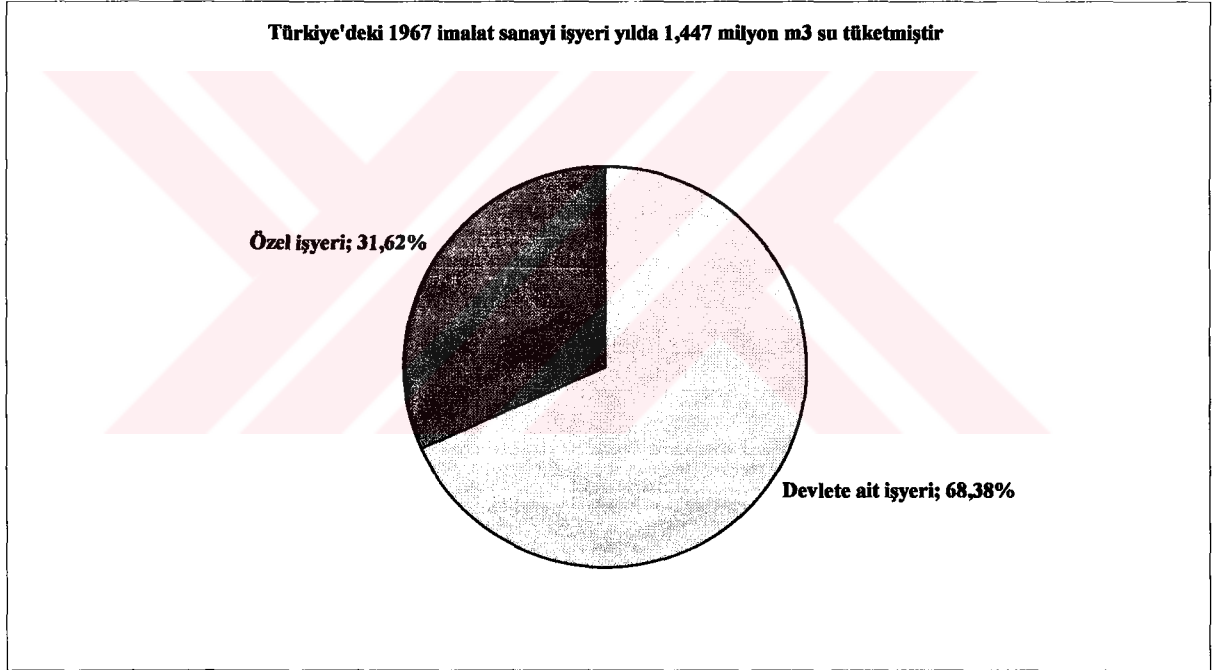
Kaliteli çamur, reaktörün alt kısımlarında oluşmaktadır. Kaliteli çamurun reaktör içinde kalmasının sağlamak amacıyla, fazla çamur reaktörün üst kısımlarından tahliye edilmelidir.

### 3.8 Atıksuların Yeniden Kullanımı

Hızlı nüfus artışı, sanayileşme, denetimsiz ve plansız kentsel büyüme mevcut su kaynakları üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Dünyada bir çok ülke su kıtlığı ile karşı karşıyadır. Bu nedenle son yıllarda su kaynaklarının kullanımında ve su tasarrufunda yeni yaklaşımlar geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur.

Sınırlı su kaynakları ve artan su taleplerine bağlı olarak, atıksuların geri kazanılması ve yeniden kullanılması büyük önem taşımaktadır. Atıksuların geri kazanılması sadece hidrolojik döngü ve su kaynaklarının yönetimi açısından değil aynı zamanda çevrenin korunması açısından ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri açısından da önem taşımaktadır.

1994 yılında Devlet İstatistik Enstitüsü tarafından yapılan araştırmaya göre, Türkiye'deki 1967 imalat sanayi işyeri yılda yaklaşık 1,447 milyon m<sup>3</sup> su tüketilmiştir.



Şekil 3.4 Türkiye'de imalat sanayi işyerinde tüketilen su miktarı

Tüketilen suyun 593,7 milyon m<sup>3</sup>'ü (% 41.01) ise yeniden kullanılmıştır [4].

Atıksuyun yeniden kullanılabilmesi için alanlar şöyle sıralanabilir;

- Tarımsal sulama
- Park, bahçe, yol kenarları, okul bahçeleri, golf sahaları ve mezarlıkların sulanması,
- Soğutma ve/veya işletme suyu olarak endüstride kullanılması
- Yangın söndürücüler, klimalar

- Tuvalet suyu
- Yapay kar üretimi
- İçme suyu

Atıksuyun tekrar kullanıma uygun seviyede arıtılması ve kontrollü kullanım bakımından teknik, ekonomik ve kurumsal sorunların ülke genelinde çözümlenmesi zorunlu görülmektedir. Bu çalışma da Avrupa Birliği tarafından desteklenen, Türkiye, Ürdün, Lübnan, Filistin bölgelerinde atıksu iyileştirilmesi ve güvenilir su eldesini, ilgili ülkeler arasındaki işbirliğini güçlendirmeyi, atıksuyun verimli şekilde kullanımı konusunda halkın bilgisini arttırmayı ve en önemlisi de yaşam ve sağlık standartlarını yükseltmeyi amaçlayan “Akdeniz Ülkelerinde Atık Suyun Etkin Yönetimi, Arıtımı ve Yeniden Kullanımı” isimli proje doğrultusunda yukarıda belirtilen amaçlara yönelik gerçekleştirilmiştir.

### **3.9 EMWATER (Akdeniz Ülkelerinde Atık Suyun Etkin Yönetimi, Arıtımı ve Yeniden Kullanımı) Projesi Hakkında Genel Bilgi**

Orijinal adı “Efficient Management of Wastewater, its Treatment and Reuse in the Mediterranean Countries” olan bu proje, Türkiye, Ürdün, Lübnan, Filistin bölgelerinde atıksu iyileştirilmesi ve güvenilir su eldesini, ilgili ülkeler arasındaki işbirliğini güçlendirmeyi, atıksuyun verimli şekilde kullanımı konusunda halkın bilgisini arttırmayı ve en önemlisi de yaşam ve sağlık standartlarını yükseltmeyi amaçlamaktadır. Projenin temel sonucu atıksu kullanımında, iyileştirilmesinde verimi ve yararı arttırmaktır.

Faaliyet alanı “yerel içme suyu kaynakları, su şebekesi ve kanalizasyonun bütünleşik yönetimi”dir. Aynı zamanda halkı atıksuları iyileştirme teknolojileri konusunda bilgilendirmek ve en uygun teknolojinin seçilmesi için karar mercileri oluşturulmasına yardım etmek de temel amaçlar arasındadır.

Bu proje atıksuyun verimli şekilde kullanımı için gerekli teknik cihazların geliştirilmesini, Akdeniz ülkeleri arasındaki (güney-güney işbirliği) ve Akdeniz ile Avrupa ülkeleri (güney-kuzey işbirliği) arasındaki işbirliğini, deneyimlerin paylaşılmasını ve atıksuyun iyileştirilmesi için uygun ve düşük maliyetli uygulamaların geliştirilmesini hedeflemektedir [5].

#### ***Projenin çalışma aktiviteleri:***

- Mümkün olan ve yapılmış çalışmaların gözden geçirilmesi, veri toplama ve analizler ile yerel durumların değerlendirilmesi ve analizi

- Atıksuyun niteliğine ve niceliğine karar vermek üzere analiz ve örnek toplama programlarının yapılmasıyla pratik çalışma
- Atıksuyun iyileştirilmesi için gerekli konuların geliştirilmesi için atıksu iyileştirme enstitüleri ve otoritelerini arttırmak, istenen bölgelerde suların arttırılması için iyileştirilmiş atıksu kullanımı ile yeni su kaynaklarının geliştirilmesi
- İnsan kaynakları gelişimini hedefleyen bölgelerde profesyonellerin ve destek sağlayanların eğitilmesi
- Eğitim amacı ile pilot bölgeler (çalışma alanları) dizayn edilmesi ve bu proje boyunca uygulanacak ve geliştirilecek olan atıksu iyileştirme teknolojisi için uygun koşulların belirlenmesi
- Proje sonuçlarını yaymak ve halkı bilgilendirmek amacıyla yerel konferanslar ve atölyelerin organizasyonu

***Beklenen sonuçlar:***

- Atıksuyun etkili biçimde iyileştirilmesi için gerekli noktaların ayrıntılı şekilde belirlenmesi
- Atıksu iyileştirilmesinde uygun teknolojilerin ve standartların geliştirilmesi
- İnsan kaynaklarının gelişimi ve enstitü binalarının yapımı
- Bilgisayar üzerinde eğitim modüllerinin geliştirilmesi
- Eğitim amaçlı pilot bölgeler kurulması
- Halkın bilgisinin artması
- Çevresel korumanın artması ve sağlık koşullarının iyileşmesi
- MEDA ülkeleri ve MEDA - EU ülkeleri arasındaki işbirliğinin artması.

Bu projeden Türkiye adına elde edilebilecek en önemli sonuçlardan birisi de Ataköy - İstanbul'da bir arıtma tesisinin ülkemizde inşa edilmesidir. TUHH laboratuvarında kurulan ve bu çalışmanın gerçekleştirildiği AAÇB reaktörü, bu arıtma tesisinin pilot tesisidir. Bu çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda Ataköy'deki arıtma tesisinin inşa edilecektir.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada aşağıdan yukarıya akışlı anaerobik çamur battaniyesi reaktörü kullanılmıştır. Laboratuvar ölçekli olan bu reaktörün boyutları aşağıda verilmiştir.

- Çap, 0.15 m
- Yükseklik, 3.0 m
- Yüzey alanı, 0.0176 m<sup>2</sup>
- Hacim, 0.053 m<sup>3</sup>'dür.

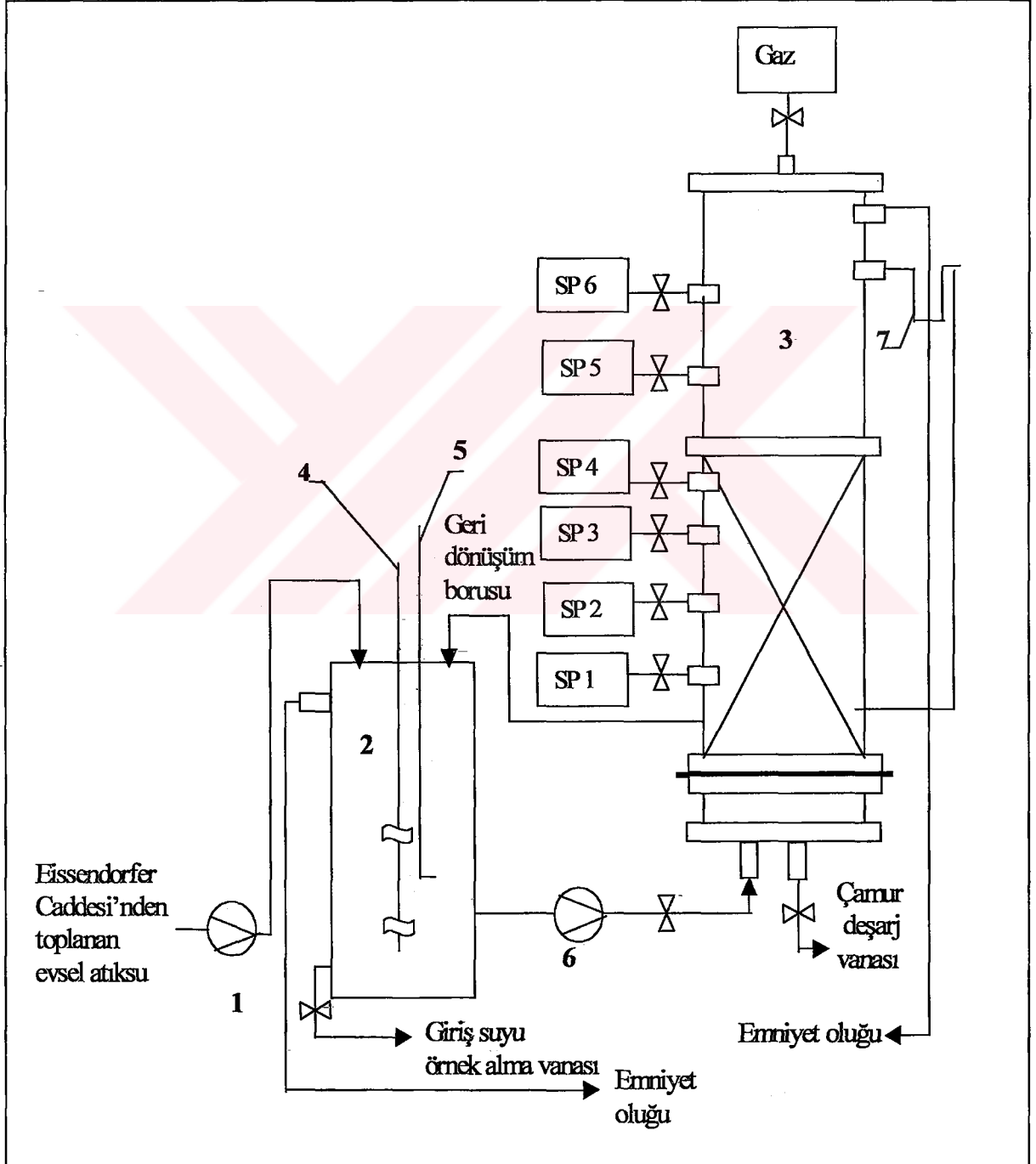
Deneysel çalışma iki kısımdan oluşmaktadır ve her iki kısımda da aynı AAÇB reaktörü kullanılmıştır:

- 1- Kesikli besleme (literatürde "batch" olarak geçen bu çalışma, ileriki bölümlerde kesikli besleme olarak adlandırılacaktır)
- 2- Devamlı besleme

#### 4.1 Kesikli Besleme

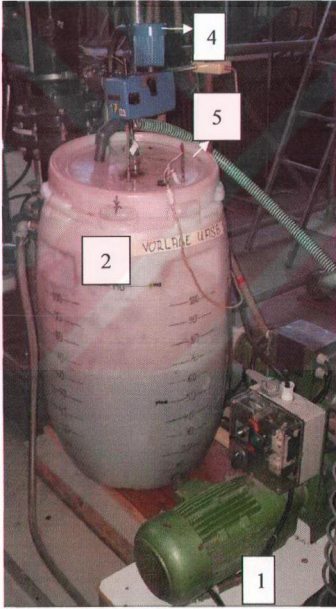
##### 4.1.1 Kesikli Besleme Esnasında Kullanılan Aşağıdan Yukarıya Akışlı Anaerobik Çamur Battaniyesi Reaktör Düzeni

Çalışmanın bu kısmı 22.11.2004 – 25.01.2005 tarihleri arasında Hamburg – Harburg Teknik Üniversitesi, Almanya’da gerçekleştirilmiştir. Bu kısmın amacı; uzun süreli biyolojik bozunmanın saptanabilmesidir.



Şekil 4.1 Kesikli besleme esnasında kullanılan AAÇB reaktörü

- 1- Birinci pompa
  - 2- Depolama tankı, 100 litre
  - 3- AAÇB reaktörü, 53 litre
  - 4- Karıştırıcı
  - 5- Atıksu seviyesi kontrol ünitesi
  - 6- Besleme pompası
  - 7- Sifon
- SP: Örnek alma noktası



(a)



(b)

Şekil 4.2 (a) Depolama tankı ve birinci pompa (b) AAÇB reaktörünün genel görünüşü

Hacminin dörtte üçü sadece çamur ile dolu olan ve tüm başlangıç değerleri bilinen AAÇB reaktörü, Şekil 4.1'de 2 numara ile belirtilmiş olan depolama tankı adı verilen ve başlangıç değerleri bilinen Eissendorfer Caddesi'nden toplanan evsel atıksu ile doldurulmuş olan 100 litrelik hacme sahip tank tarafından atıksuyun pompalanması ile beslenmektedir. Depolama tankı içinde bulunan atıksu, karıştırıcı yardımıyla sürekli karıştırılmaktadır. Reaktörden ayrılan çıkış suyu ise geri dönüşüm borusu ile tekrar depolama tankına gönderilmiştir ve böylelikle sistemde sürekli bir dönüşüm sağlanmıştır.

Şekil 4.1'de belirtilen, depolama tankının altında bulunan giriş suyu örnek alma vanasının açılmasıyla alınan 500 ml hacmindeki giriş suyu ve geri dönüşüm borusundan alınan çıkış suyu örneklerine aşağıda verilen analizler yapılmıştır.

- Toplam kimyasal oksijen ihtiyacı ( $KO\dot{I}_{tot}$ )
- Çözünmüş kimyasal oksijen ihtiyacı ( $KO\dot{I}_{\dot{c}oz}$ )
- Toplam askıda katı madde (TAKM)
- Toplam organik karbon (TOK)
- Toplam azot (TN)

Çalışmanın ilk günü ve son gününde, reaktör içinde bulunan çamurdan alınan örneklere ise;

- pH ve sıcaklık
- TAKM
- Uçucu askıda katı madde (UAKM)
- Çamur hacim indeksi (ÇHİ) analizleri yapılmıştır.

Çamur, giriş ve çıkış sularına uygulanan analizlerin yanı sıra; debi, akış suyunun hızı, organik yüklenme ve hidrolik alıkonma süresi gibi proses parametrelerinin hesaplanması amacıyla da ölçümler yapılmıştır.

#### 4.1.2 Proses Parametrelerinin Hesaplanması

Proses parametrelerinin hesaplanması genel olarak AAÇB reaktörünün çıkış suyunun debisinin (Q) ölçülmesine dayanmaktadır. Belirli zamanlarda Şekil 4.1'de gösterilen geri dönüşüm borusundan mezüre doldurulan çıkış suyunun debisi kronometre ile ölçülen sürede, mezürde bulunan sıvı hacminin okunması ve gerekli dönüşümler uygulanması sonucunda

$m^3/gün$  cinsinden verilmiştir. Debinin belirlenmesi sonucunda akış hızı Eşitlik 4.1, organik yükleme Eşitlik 4.2 ve hidrolik alıkonma süresi Eşitlik 4.3'de gösterildiği gibi hesaplanmış ve Çizelge 4.1 elde edilmiştir.

$$v_1 = Q / (A \times 24) \quad (4.1)$$

$v_1$  = Aşağıdan yukarıya akış hızı, [m/saat]

$Q$  = Debi, [ $m^3/gün$ ]

$A$  = AAÇB reaktörünün alanı,  $0.0176 m^2$

$$L_o = (Q \times KOI_{\text{çöz}}(\text{giriş suyu})) / (V \times 1000) \quad (4.2)$$

$L_o$  = Organik yük, [ $kg KOI_{\text{çöz}}/m^3.gün$ ]

$Q$  = Debi, [ $m^3/gün$ ]

$KOI_{\text{çöz}}(\text{giriş suyu})$  = Giriş suyunun kimyasal oksijen ihtiyacı (analiz yöntemi Bölüm 4.1.3.1'de verilmiştir), [ $mg/l O_2$ ]

$V$  = AAÇB reaktörünün hacmi,  $0.053 m^3$

$$HAS = V / Q \quad (4.3)$$

$HAS$  = Hidrolik alıkonma süresi, [saat]

$V$  = AAÇB reaktörünün hacmi,  $0.053 m^3$

$Q$  = Debi, [ $m^3/saat$ ]

Çizelge 4.1 AAÇB reaktörüne ait proses parametreleri

Gün	Debi [m <sup>3</sup> /gün]	KOİ <sub>çöz</sub> -Giriş suyu [mg/l O <sub>2</sub> ]	Akış hızı [m/saat]	Organik yükleme [kg KOİ <sub>çöz</sub> /m <sup>3</sup> .gün]	Hidrolik alıkonma süresi [saat]
2	0,0972	633	0,23	1,16	13,09
3	0,1152	728	0,27	1,58	11,04
4	0,1056	425	0,25	0,85	12,05
23	0,0432	263	0,10	0,21	29,44
30	0,1728	160	0,41	0,52	7,36
43	0,03	94,7	0,07	0,05	42,40
60	0,072	70	0,17	0,10	17,67
				ortalama: 0,64	ortalama: 19

Çizelge 4.1'e göre bu çalışmada elde edilen ortalama hidrolik alıkonma süresi; 19 saat, organik yük ise 0,64 kg KOİ /m<sup>3</sup>.gün'dür.

#### 4.1.3 Giriş ve Çıkış Suyu Örneklerinde Analiz Edilen Parametreler ve Analiz Yöntemleri

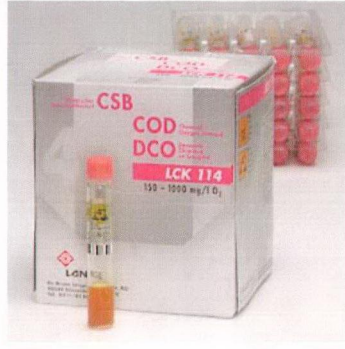
##### 4.1.3.1 Toplam ve Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ<sub>tot</sub> ve KOİ<sub>çöz</sub>)

Bir suyun veya atıksuyun içerisindeki organik maddelerin kimyasal olarak oksitlenebilmesi için gerekli olan oksijen miktarının eşdeğer ölçüsüne *kimyasal oksijen ihtiyacı* denir.

Bir örneğin KOİ miktarının belirlenmesi için, organik maddelerin oksidasyonu sırasında harcanan oksijen miktarı belirlenir. KOİ, atıksuların incelenmesi çalışmalarında önemli ve çabuk sonuç veren bir parametredir.

KOİ<sub>tot</sub>, örneğin direkt olarak analiz etmesiyle belirlenirken, KOİ<sub>çöz</sub> analizi için örnek, ölçüm aralığı 12 – 25 µm boyutunda olan tanecikli örnekleri ölçmede kullanılan, Schleicher - Schuell yapımı Whatman marka siyah bantlı süzgeç kağıdıyla süzölmüştür [6]. Oluşan süzöntü analiz edilmiştir.

Klasik KOİ analizi yerine, günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan, 150 – 1000 mg/l O<sub>2</sub> aralığına sahip LCK 114 kodlu Dr. Lange KOİ test küvetleri kullanılmıştır (Şekil 4.3).

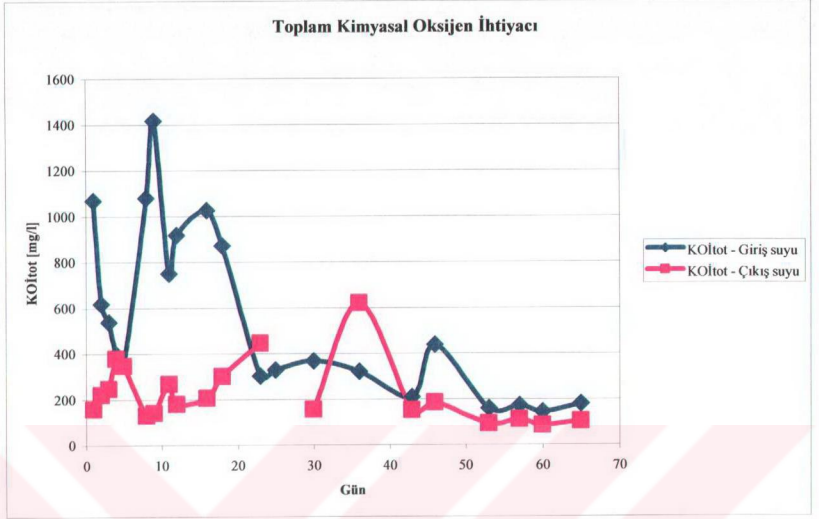


Şekil 4.3 LCK 114 Dr. Lange KOİ ölçüm kit [7]

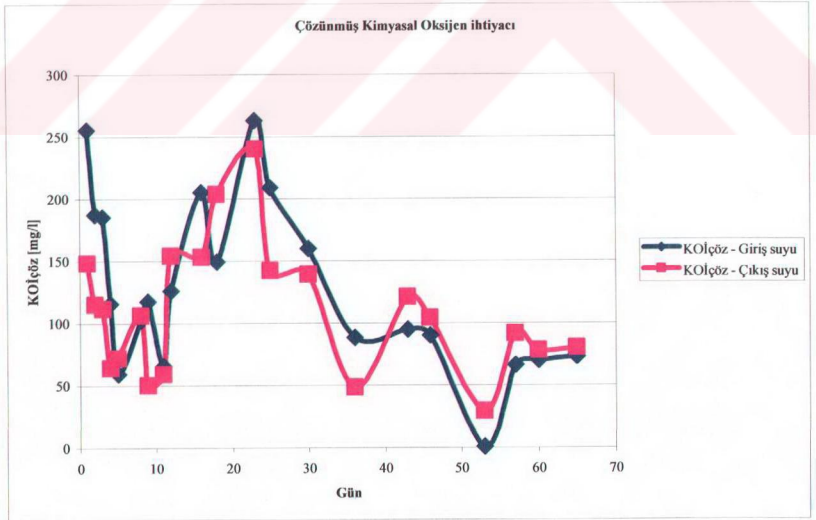
İçerisinde  $H_2SO_4$  ve  $K_2Cr_2O_7$  çözeltilerinin yanı sıra  $Ag_2SO_4$  katalizör ve Cl maskeleyici olan  $HgSO_4$  bulunan Dr. Lange küvetine iyice çalkalanmış örnekten 2 ml ilave edilir ve iyice çalkalanır ve  $148\text{ }^\circ\text{C}$ ' ye ayarlanmış olan Dr. Lange LT 1W termostatta 120 dakika bekletilir. 120 dakikanın sonunda örnekler oda sıcaklığına getirilip, çözeltilerin renk değişimine bağlı olarak çalışan ISiS 9000 çoklu diyod array fotometrede KOİ değerleri okunur (Şekil 4.4).



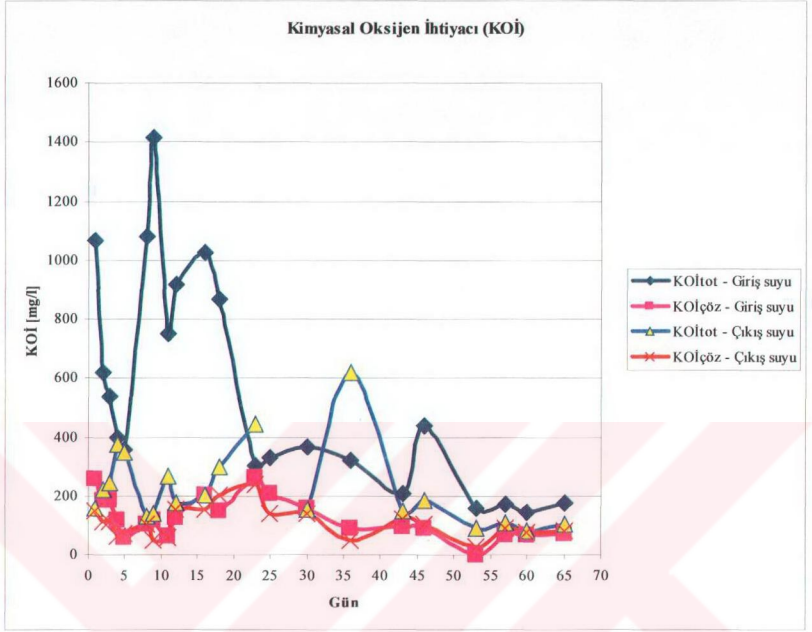
Şekil 4.4 Dr. Lange termostat LT 1W (sağda) ve ISiS 9000 fotometre (solda)  
Analizler sonucunda Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7'deki diyagramlar elde edilmiştir.



Şekil 4.5 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının  $KOİ_{tot}$  diyagramı



Şekil 4.6 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının  $KOİ_{çöz}$  diyagramı



Şekil 4.7 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının  $KOİ_{tot}$  ve  $KOİ_{çöz}$  diyagramı

#### 4.1.3.2 Toplam Askıda Katı Madde (TAKM)

Birim hacimdeki su numunesinin 103 – 105 °C’ de buharlaştırılması sonucu elde edilen madde ağırlığına *toplam katı madde* denir. Bu maddelerin bir kısmı filtrasyon ile tutulabilir (askıdaki madde), bir kısmı ise filtrasyon ile tutulamaz (çözünmüş madde).

Askıda katı maddeler sularda süspansiyon halinde bulunan, gözle fark edilen, çöktürme veya filtrasyon gibi fiziksel veya mekanik yöntemlerle atıksudan ayrılabilen katı maddelerdir. Bu maddeler, suda çözünür olmayan halde bulunurlar. Bu çözünür halde olmayan maddeler ya çökebilir nitelikte, ya da çok ufak boyutlarda ve elektrik yükü sahip olmaları ile askıda kalırlar. Askıda maddeler özellikle sularda bulanıklık, ışık geçirgenliğini azaltıcı etki ve alıcı ortamda dip birikintilerine yol açarak su canlılarını etkilerler.

TAKM tayinleri, gravimetrik yöntem esasına dayanmaktadır. Analiz, 103 – 105 °C’ de sabit tartıma getirilmiş ve darası alınmış siyah bantlı süzgeç kağıdından, iyice karıştırılmış atıksu numunesinin belirli bir hacminin vakum altında süzülmesi ve sonra 103 – 105 °C’ de etüvde

süzgeç kağıdının kurutulması sonucu kağıtta kalan askıda katı maddelerin tartılması esasına dayanılarak yapılmıştır. Eşitlik 4.4 kullanılarak TAKM hesaplanır. Hata payını azaltmak amacıyla örnekler 2 paralel şekilde analiz edilmiştir.

$$\text{TAKM} = ((X_2 - X_1) \times 1000) / V \quad (4.4)$$

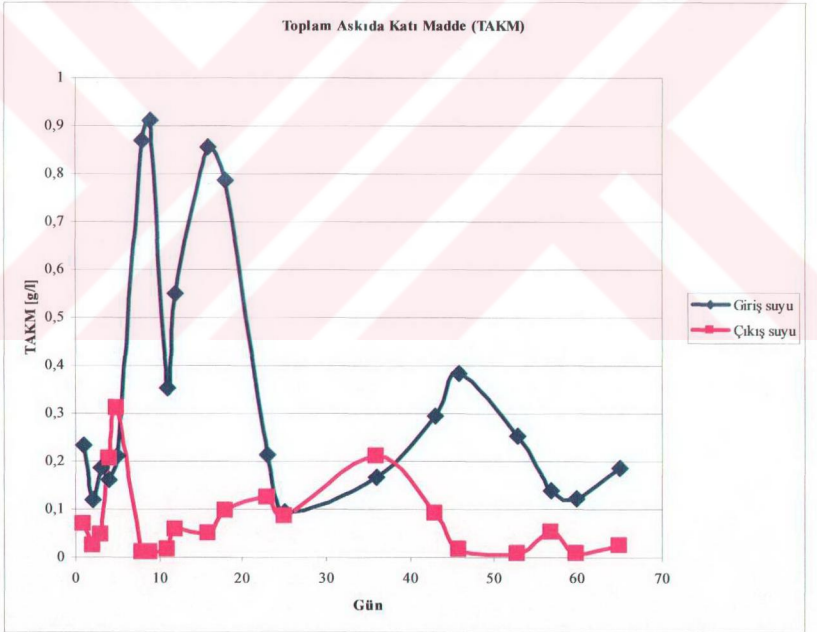
TAKM = Toplam askıda katı madde, [g/l]

$X_2$  = Süzgeç kağıdının ağırlığı + örnek, [g]

$X_1$  = Süzgeç kağıdı darası, [g]

V = Örnek hacmi, [ml]

Analiz sonucunda Şekil 4.8'deki diyagram elde edilmiştir.



Şekil 4.8 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının TAKM diyagramı

#### 4.1.3.3 Toplam Organik Karbon (TOK) ve Toplam Azot (TN)

**TOK:** Toplam organik karbon adından da anlaşıldığı üzere örnekte bulunan toplam karbonun ölçülmesiyle bulunur. TOK, örnekteki karbon atomlarının okside edilerek CO<sub>2</sub>'e dönüştürülmesi prensibine bağlı olarak ölçülür. Çoğu TOK ölçümünde örnekteki karbon atomları, kuvvetli bir okside edici aracılığıyla ısı veya UV ışık varlığında CO<sub>2</sub>'ye dönüştürülür. Oluşan CO<sub>2</sub>, IR spektroskopisinde ölçülür.

Genel olarak TOK değerleri KOİ değerlerinden daha düşüktür. Çünkü organik bileşiklerin bir kısmı TOK analizinde okside olmayabilirler. Tipik evsel atıksularda TOK değeri 100 – 300 mg/l' dir [8].

**TN:** Azot organik bileşiklerde çeşitli formlarda bulunur. Bunlar; organik azot, amonyum azotu (hem NH<sub>4</sub><sup>+</sup> iyonu hem de serbest NH<sub>3</sub>), nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) azotu ve nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) azotudur. Bu dört azot formunun toplamı *toplam azotu* verir.

Yüzeysel sular, yeraltı suları ve atıksularda azot bileşiklerinden oksidasyon kademesine göre en çok ilgilenilen türler nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), amonyak (NH<sub>3</sub>) ve organik azottur.

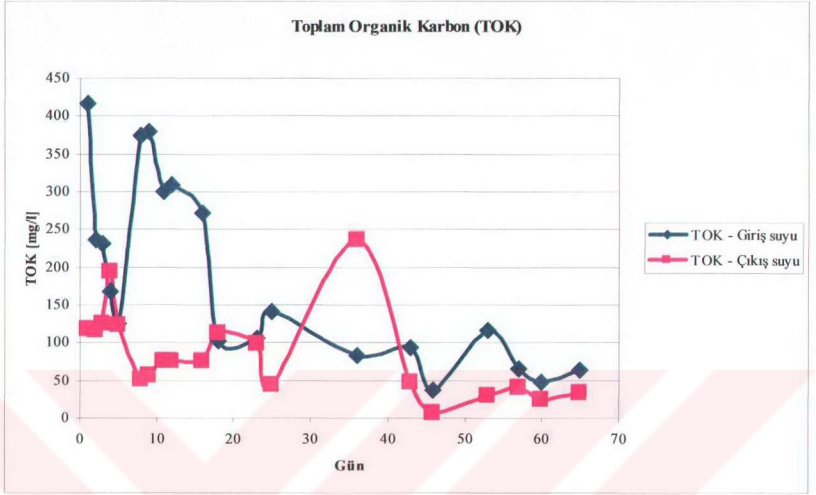
TOK ve TN parametreleri, arıtma sisteminin işleyişini kontrol etmek amacıyla analiz edilmişlerdir.

Bu çalışmada giriş ve çıkış suyu örneklerinin laboratuvar görevlisi tarafından Şekil 4.9'da görülen Analytik-Jena markalı Multi N/C 3000 cihazı ile ölçülmesi ile analiz edilmiştir.

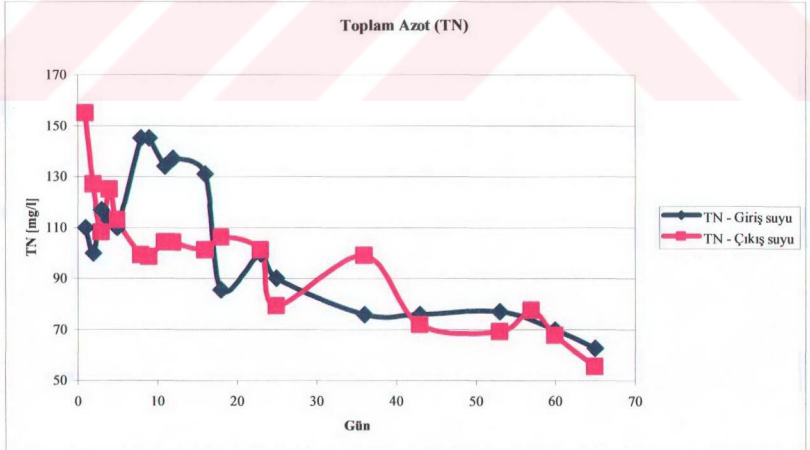


Şekil 4.9 Multi N/C 3000 cihazı

TOK ve TN analizlerinden elde edilen diyagramlar Şekil 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.10 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının TOK diyagramı



Şekil 4.11 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının TN diyagramı

#### 4.1.4 Çamur Örneklerinde Analiz Edilen Parametreler ve Analiz Yöntemleri

Çalışmanın ilk günü ve son gününde, çamurun durumunu belirlemek amacıyla, AAÇB reaktörü içinde bulunan çamurdan alınan örneklerle aşağıda belirtilen analizler yapılmıştır.

- pH ve sıcaklık,
- TAKM,
- Uçucu askıda katı madde (UAKM)
- Çamur hacim indeksi (ÇHI)

##### 4.1.4.1 pH ve Sıcaklık

pH,  $H^+$  iyonu konsantrasyonunu ifade eden bir değerdir. pH değeri 1 – 14 arasındadır. pH ölçümü, su kimyasında en sık kullanılan ve en önemli deneylerden biridir.

Metan üretimini sağlayan, metan bakterileri için optimum pH aralığı 6.3 – 7.8 kabul edilir. Bu aralıkta bulunmayan pH' larda metan bakterilerinin aktiviteleri azalmaktadır (Haandel ve Lettinga, 1994) (Öztürk, 1999). Dolayısıyla AAÇB reaktörünün işletim kontrolünde de kullanılan çok önemli bir parametredir.

Bu çalışmada pH ölçümü pH-metre ile yapılmıştır. pH 7.6 – 7.7, sıcaklık ise 14 – 15 °C' dir.

##### 4.1.4.2 Toplam Askıda Katı Madde (TAKM)

Çamur örneklerine uygulanan TAKM analizi Bölüm 4.1.3.2'deki gibi yapılmıştır. Başlangıç ve son TAKM değerleri sırasıyla; 32.93 ve 37.73 g TAKM/l olarak bulunmuştur.

##### 4.1.4.3 Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM)

UAKM tayinleri, atıksu arıtma tesislerinin kontrolünde önemlidir. Çünkü çamurda mevcut olan organik maddelerin miktarları hakkında kabaca bilgi verir.

UAKM analizi için, 103 – 105 °C' de sabit tartıma getirilmiş ve darası alınmış ( $M_a$ ) porselen krozeyle konan, iyice karıştırılmış çamur numunesinden alınan belli hacimdeki örnek, 103 – 105 °C' de etüvde 2 saat bekletilir. 2 saat sonunda krozele, desikatörde soğuması için bir müddet bekletilir ve soğuduktan sonra tartım alınır ( $M_b$ ). Sonra 550 °C' de kül fırında 2 saat bekletilen krozele desikatörde soğutulduktan sonra son tartım alınır ( $M_c$ ). Hata payını azaltmak amacıyla örnekler 2 paralel şekilde analiz edilmiştir.

$$UAKM = \left( \frac{[(M_b - M_c) / (M_b - M_a)]}{V} \right) \times 1000 \quad (4.5)$$

UAKM = Uçucu askıda katı madde, [g/l]

$M_a$  = Darası alınmış krozenin ağırlığı, [g]

$M_b$  = Kroze + örneğin ağırlığı – 105 °C' den sonra, [g]

$M_c$  = Kroze + örneğin ağırlığı – 550 °C' den sonra, [g]

V = Örnek hacmi, [l]

Eşitlik 4.5'e göre yapılan hesaplamalardan sonra, başlangıç ve son UAKM değerleri sırasıyla; 8.61 ve 8.3 g UAKM/l olarak bulunmuştur.

#### 4.1.4.4 Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ)

Çamur hacim indeksi, 1 g askıda katı maddenin 30 dakika çökmeye bırakılmasından sonra elde edilen hacimdir (Dick ve Vesilind, 1969). ÇHİ, teorik olarak desteklenmese de genel proses kontrolünde kullanılması uygundur (Finch ve Ives, 1950).

ÇHİ, çamurdaki sıvı – katı ayırımının da bir göstergesidir. Ayırım iyi olursa, çöken çamurun kaplayacağı hacim azalır [8].

ÇHİ ölçümü için 3 adet 1000 ml' lik mezüre sırasıyla 1:1, 1:2, 1:10 oranında reaktörden (Şekil 4.1, SP 2 noktası) alınan ve distile su ile seyreltilmiş çamur örneği konur ve iyice çalkalanır. 30 dakika bekletildikten sonra, çöken çamur miktarları belirlenir. ÇHİ hesaplanması Eşitlik 4.6'ya göre yapılmıştır.

$$\text{ÇHİ} = (V / \text{TAKM}) \times \text{Seyreltme oranı} \quad (4.6)$$

ÇHİ = Çamur hacim indeksi, [ml/g]

V = Çöken çamur hacmi, [ml/l]

Seyreltme oranı = 1, 2 veya 10

Çizelge 4.2 AAÇB reaktöründen alınan çamurun hacim indeksi

Gün	Seyreltme oranı	Çöken çamur hacmi (ml/l)	TAKM (g/l)	Çamur hacim indeksi (ml/g)
İlk	1:1	1000	32,93	30,37
	1:2	660	32,93	40,09
	1:10	80	32,93	24,29
Son	1:1	1000	37,73	26,50
	1:2	290	37,73	15,37
	1:10	190	37,73	50,36

Çizelge 4.2'de de görüldüğü gibi kesikli besleme sonunda çamur değerlerinde iyileşme vardır.



Şekil 4.12 Çamur hacim indeksi analizi (soldan sağa doğru seyreltme oranları; 1:1, 1:2, 1:10)

Çizelge 4.3 Kesikli besleme esnasında analiz edilen tüm parametrelere ait ortalama değerler

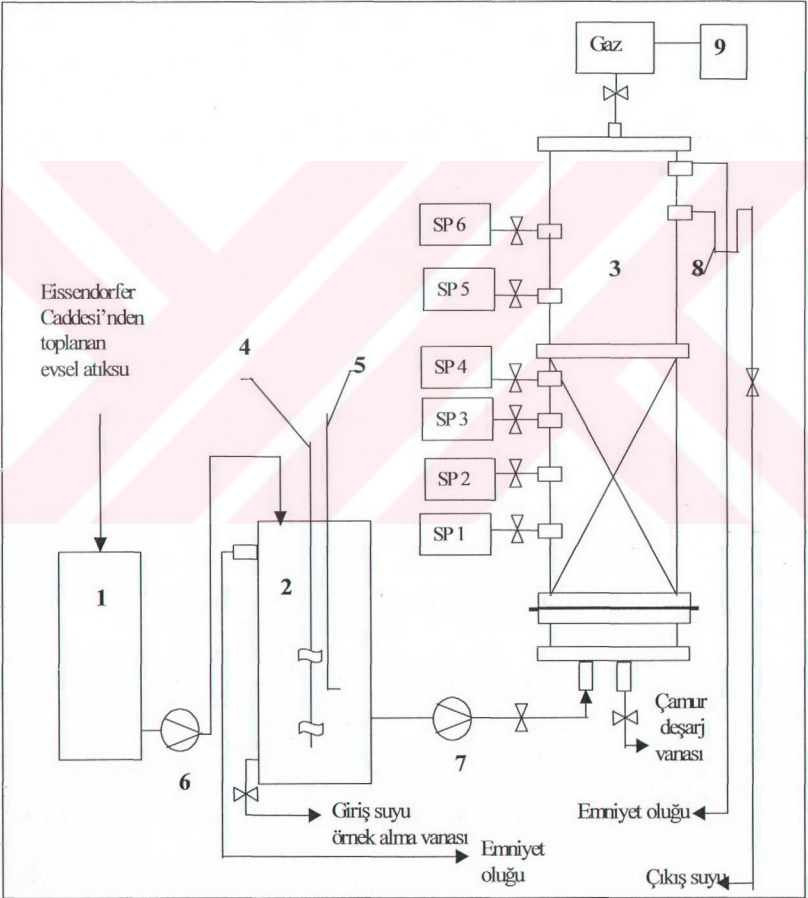
Parametre	Birim	Giriş suyu	Çıkış suyu	Çamur
KOİ <sub>tot</sub>	mg/l	554,8	225,1	-
KOİ <sub>çöz</sub>	mg/l	127,8	110	-
TAKM	g/l	0,35	0,08	35,5
UAKM	g/l	-	-	8,46
TOK	mg/l	183,6	84,4	-
TN	mg/l	102,5	93,9	-
pH	-	-	-	7,6 - 7,7
Sıcaklık	°C	-	-	14 - 15

Çizelge 4.3'de de görüldüğü gibi kesikli besleme KOİ<sub>tot</sub>, KOİ<sub>çöz</sub> ve TAKM uzaklaştırılmasında oldukça başarılı olmuştur.

## 4.2 Devamlı Besleme

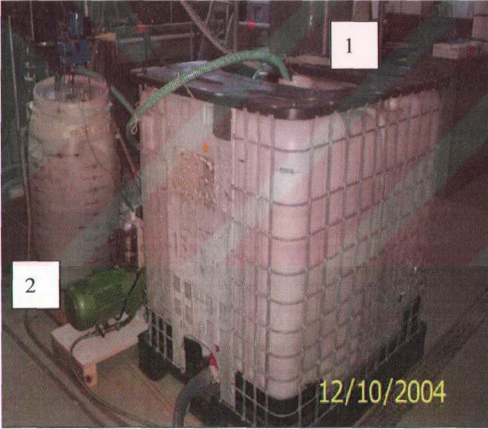
### 4.2.1 Devamlı Besleme Esnasında Kullanılan Aşağıdan Yukarıya Akışlı Anaerobik Çamur Battaniyesi Reaktör Düzenegi

Çalışmanın bu kısmı 27.01.2005 – 31.03.2005 tarihleri arasında Hamburg – Harburg Teknik Üniversitesi, Almanya’da gerçekleştirilmiştir. Bu kısmın amacı; 13 - 18 °C sıcaklıkta AAÇB reaktörü ile arıtma yapabilmek için gereken optimum koşullar belirlenmeye çalışılması ve arıtma veriminin belirlenmesidir.

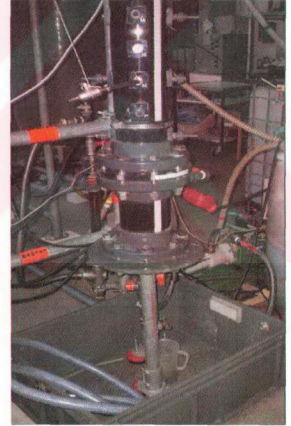


Şekil 4.13 Devamlı besleme esnasında kullanılan AAÇB reaktörü

- 1- Çöktürme tankı, 1000 litre
  - 2- Depolama tankı, 100 litre
  - 3- AAÇB reaktörü, 53 litre
  - 4- Karıştırıcı
  - 5- Atıksu seviyesi kontrol ünitesi
  - 6- Birinci pompa
  - 7- Besleme pompası
  - 8- Sifon
  - 9- Gaz hacmi ölçme ünitesi
- SP: Örnek alma noktası



(a)



(b)

Şekil 4.14 (a) Çöktürme tankı (b) Çamur deşarj vanası

Bu çalışmada AAÇB reaktörü taze evsel atıksu ile devamlı olarak beslenmiştir.

Şekil 4.13 ve 4.14'de 1 numara ile belirtilen çöktürme tankında en az 2 saat bekletilen Eissendorfer Caddesi'nden toplanan evsel atıksu, çöktürme işlemi bittikten sonra 6 numaralı pompa aracılığıyla 2 numaralı depolama tankına pompalanmaktadır. Depolama tankı içinde bulunan atıksu, karıştırıcı yardımıyla sürekli karıştırılmaktadır. Atıksu, depolama tankından da 7 numaralı pompa aracılığıyla reaktöre pompalanmaktadır. Arıtım esnasında, reaktörde oluşan gaz hacmi ise *yer değiştirme* yöntemi ile ölçülmektedir.

Depolama tankının altında bulunan giriş suyu örnek alma vanasının açılmasıyla alınan 500 ml hacmindeki giriş suyu ve çıkış suyu borusundan alınan çıkış suyu örneklerine aşağıda verilen analizler yapılmıştır.

- $KO\dot{I}_{tot}$
- $KO\dot{I}_{\dot{c}oz}$
- TAKM
- TOK
- TN
- Uçucu yağ asidi (UYA)

Çalışma süresince, reaktör içinde bulunan çamurdan alınan örneklerle ise;

- pH
- TAKM
- Uçucu askıda katı madde (UAKM)
- Çamur hacim indeksi (ÇHI) analizleri yapılmıştır.

Çamur, giriş ve çıkış sularına uygulanan analizlerin yanı sıra; debi, akış suyunun hızı, organik yükleme, hidrolik alıkonma süresi ve üretilen gazın hacminin ölçülmesi gibi proses parametrelerinin belirlenmesi amacıyla da ölçümler yapılmıştır.

#### 4.2.2 Proses Parametrelerinin Hesaplanması

Proses parametrelerinin hesaplanması Bölüm 4.1.2'de verildiği gibi yapılmıştır. Hesaplamalar için de Eşitlik 4.1, 4.2 ve 4.3 kullanılmıştır ve Çizelge 4.4 elde edilmiştir.

Çizelge 4.4 AAÇB reaktörüne ait proses parametreleri

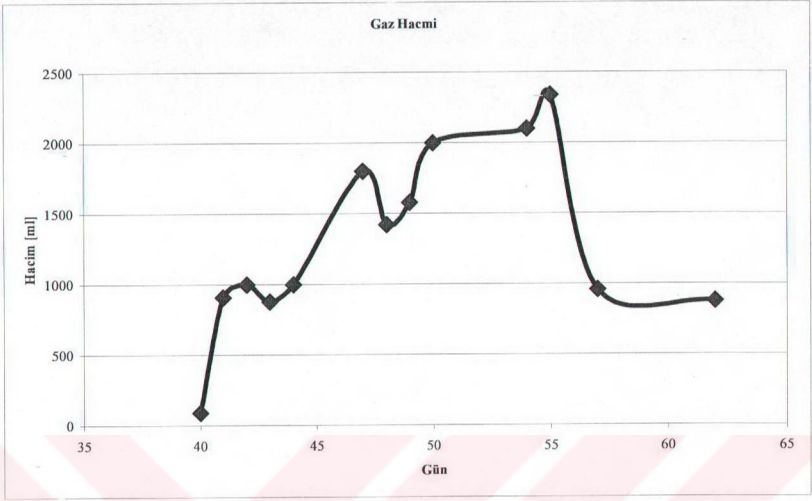
Gün	Debi [m <sup>3</sup> /gün]	KOİÇöz-Giriş suyu [mg/l O <sub>2</sub> ]	Akış hızı [m/saat]	Organik yükleme [kg KOİ/m <sup>3</sup> .gün]	Hidrolik alkonma süresi [saat]
16	0,04	368	0,09	0,26	33,97
21	0,03	veri yok	0,07	veri yok	44,17
23	0,04	289,5	0,09	0,20	35,33
30	0,09	635	0,22	1,10	13,80
33	0,03	525	0,07	0,29	44,17
36	0,07	570	0,17	0,77	17,67
40	0,04	304	0,09	0,21	35,33
41	0,05	358	0,12	0,35	24,54
42	0,06	354	0,15	0,42	20,08
43	0,04	354	0,09	0,26	32,72
44	0,05	340	0,12	0,32	25,24
47	0,04	286	0,11	0,24	28,49
48	0,07	344	0,16	0,44	18,79
49	0,08	veri yok	0,18	veri yok	16,83
50	0,07	356	0,18	0,50	16,99
51	0,09	352	0,22	0,61	13,80
54	0,07	352	0,17	0,48	17,67
55	0,08	358	0,19	0,53	16,06
57	0,11	352	0,25	0,71	11,94
62	0,10	352	0,23	0,64	13,18
				<b>ortalama: 0,46</b>	<b>ortalama: 24</b>

Çizelge 4.4'e göre bu çalışmada elde edilen ortalama hidrolik alkonma süresi; 24 saat, organik yük ise 0,46 kg KOİ /m<sup>3</sup>.gün'dür.

#### 4.2.3 Gaz Hacminin Ölçülmesi

Arıtma esnasında oluşan gaz hacminin ölçülmesi *yer değiştirme* yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntem, bir mezür içinde bulunan su hacmi ile oluşan gaz hacminin yer değiştirmesi esasına dayanmaktadır.

İçinde su bulunan derin bir kaba, içinde yine su olan 2 litrelik mezür baş aşağı yerleştirilir. AAÇB reaktöründe oluşan gaz mezürün içine bir hortum ile iletilir ve gaz oluştuğunda sistemde bulunan su ile gaz yer değiştirir ve oluşan gaz hacmi kadar su mezürden dışarı itilir. Mezürde oluşan boşluk günlük olarak ölçülerek AAÇB reaktöründe oluşan gaz hacmi belirlenmiş ve Şekil 4.15 elde edilmiştir.

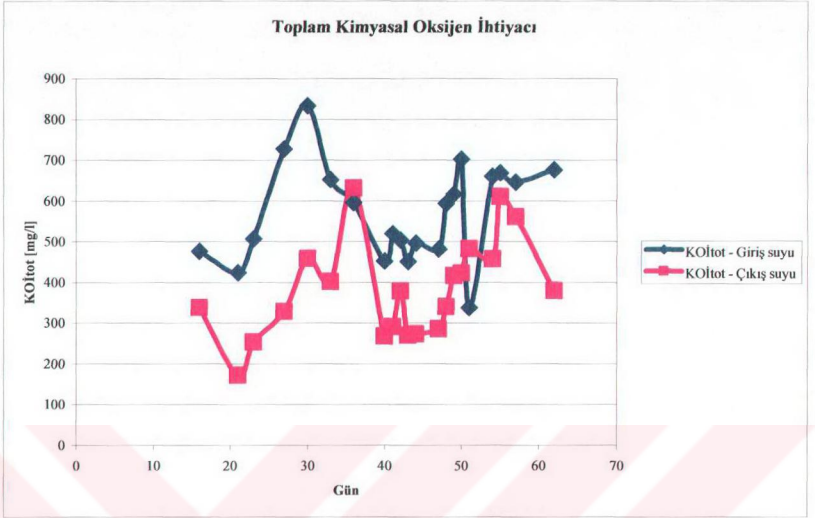


Şekil 4.15 AAÇB reaktöründe oluşan gaz hacmi diyagramı

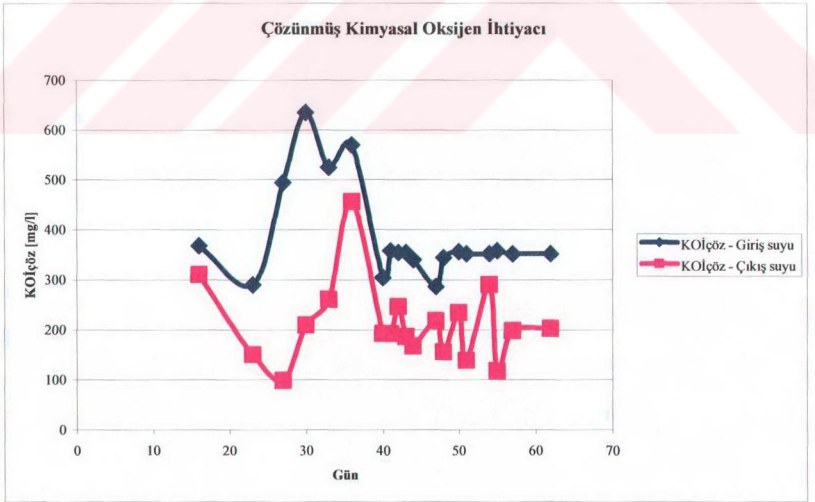
#### 4.2.4 Giriş ve Çıkış Suyu Örneklerinde Analiz Edilen Parametreler ve Analiz Yöntemleri

##### 4.2.4.1 Toplam ve Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı ( $KOİ_{tot}$ ve $KOİ_{çöz}$ )

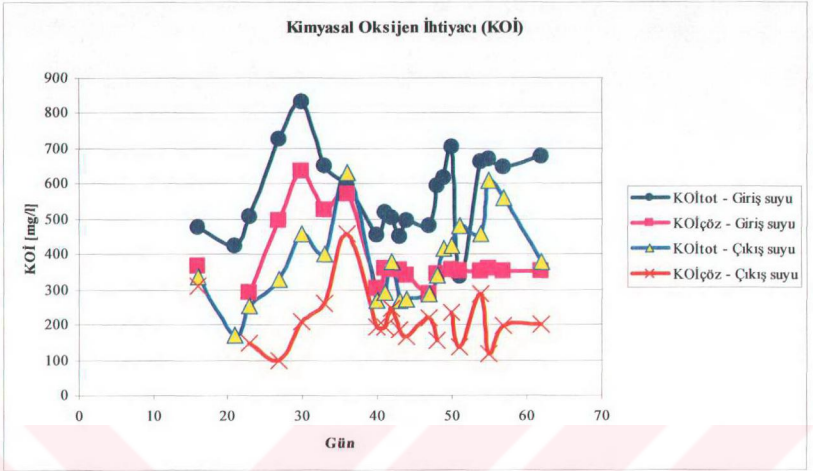
$KOİ_{tot}$  ve  $KOİ_{çöz}$  analiz yöntemleri Bölüm 4.1.3.1'de verildiği gibidir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de grafikler halinde verilmiştir.



Şekil 4.16 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının  $KOİ_{tot}$  diyagramı



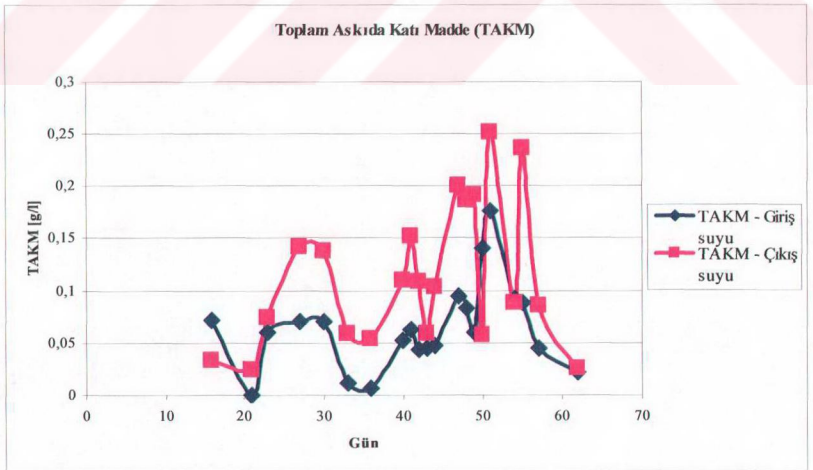
Şekil 4.17 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış sularının  $KOİ_{çöz}$  diyagramı



Şekil 4.18 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun KOİ diyagramı

#### 4.2.4.2 Toplam Askıda Katı Madde (TAKM)

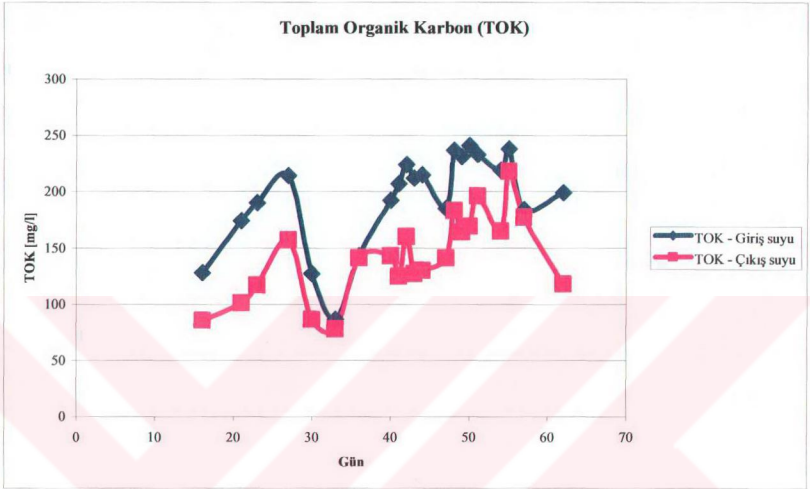
TAKM analizleri Bölüm 4.1.3.2'de verildiği gibi yapılmıştır. Hesaplamalar için de Eşitlik 4.4 kullanılmıştır ve Şekil 4.19 elde edilmiştir.



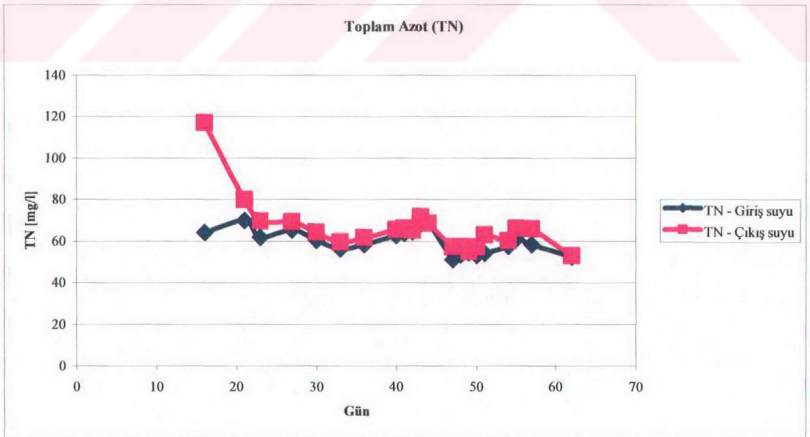
Şekil 4.19 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun TAKM diyagramı

#### 4.2.4.3 Toplam Organik Karbon (TOK) ve Toplam Azot (TN)

TOK ve TN analizleri Bölüm 4.1.3.3'de verildiği gibi yapılmıştır ve Şekil 4.20 ve 4.21 elde edilmiştir.



Şekil 4.20 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun TOK diyagramı



Şekil 4.21 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun TN diyagramı

#### 4.2.4.4 Uçucu Yağ Asitleri (UYA)

Organik asitlerin kromatografik ayırma ve distilasyon ile ölçümü anaerobik parçalama için bir kontrol testi olarak kullanılabilir. Uçucu yağ asitleri, atmosferik basınçta distile edilebilen suda çözünebilir yağ asitleri olarak sınıflandırılmaktadırlar. Uçucu yağ asitlerinin analizi için distilasyon metodu kullanılmaktadır.

Bu çalışmada UYA analizi için Şekil 4.22'de verilen Büchi 321 distilasyon ünitesi ile TUHH, araştırma laboratuvarı tarafından geliştirilmiş olan metotla tayin edilmiştir.



Şekil 4.22 Büchi 321 Distilasyon cihazı

Distilasyon cihazının sol tarafına içinde 50 ml örnek ve 3 ml derişik  $H_3PO_4$  olan tüp yerleştirilir. Sağ tarafa ise, içinde bir miktar su bulunan ve distilatın toplandığı erlen yerleştirilir. Cihaz 15 dakika boyunca distilasyon işlemini gerçekleştirir. İşlem bittikten sonra, distilat armudi balona boşaltılır ve geri soğutucu altında 25 dakika boyunca tekrar distile edilir. Daha sonra geri soğutucudan çıkarılarak  $60\text{ }^\circ\text{C}$ ' ye kadar soğutulur. Soğuyan çözelti 5 damla fenolftalein indikatörlüğünde 0.1 M NaOH ile dönüm noktasına kadar titre edilir ve harcanan NaOH sarfiyatı kaydedilir.

Örnek için yapılan bu işlem, su şahit numune alınarak tekrarlanır ve Eşitlik 4.7'ye göre hesaplama yapılır.

$$\text{UYA} = [(V_1 - V_2) / V_{\text{numune}}] \times 1000 \times N_{\text{NaOH}} \times M_a(\text{CH}_3\text{COOH}) \quad (4.7)$$

UYA = Uçucu yağ asidi ( $\text{CH}_3\text{COOH}$  cinsinden), [mg/l]

$V_1$  = Örnek için harcanan NaOH hacmi, [ml]

$V_2$  = Şahit için harcanan NaOH hacmi, [ml]

$V_{\text{numune}}$  = Analiz edilen numune hacmi, [ml]

$N_{\text{NaOH}}$  = Kullanılan NaOH çözeltisinin normalitesi, [0.1 N]

$M_a(\text{CH}_3\text{COOH})$  =  $\text{CH}_3\text{COOH}$ 'in molekül ağırlığı, [60 g/mol]

Eşitlik 4.7'ye göre yapılan hesaplamalar sonunda Şekil 4.23 elde edilmiştir.



Şekil 4.23 AAÇB reaktörü giriş ve çıkış suyunun UYA diyagramı

#### 4.2.5 Çamur Örneklerinde Analiz Edilen Parametreler ve Analiz Yöntemleri

Çalışmanın bazı günlerinde, çamurun durumunu belirlemek amacıyla, AAÇB reaktörü içinde bulunan çamurdan alınan örneklere pH, sıcaklık, toplam askıda katı madde (TAKM), uçucu askıda katı madde (UAKM) ve çamur hacim indeksi (ÇHİ) analizleri yapılmıştır.

##### 4.2.5.1 pH ve Sıcaklık

Bu çalışmada pH ölçümü pH-metre ile yapılmıştır. pH 6.9 – 7.9, sıcaklık ise 13 – 18 °C' dir.

##### 4.2.5.2 Toplam Askıda Katı Madde (TAKM)

Çamur örneklerine uygulanan TAKM analizi Bölüm 4.1.3.2'deki gibi yapılmıştır. Çamurun ortalama TAKM değeri, 17.64 g TAKM/l olarak bulunmuştur.

##### 4.2.5.3 Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM)

Eşitlik 4.5'e göre yapılan hesaplamalardan sonra, çamurun ortalama UAKM değeri 7.61 g UAKM/l olarak bulunmuştur.

##### 4.2.5.4 Çamur Hacim İndeksi (ÇHİ)

ÇHİ hesaplanması Eşitlik 4.6'ya göre yapılmıştır ve Çizelge 4.5 elde edilmiştir.

Çizelge 4.5 AAÇB reaktöründen alınan çamurun hacim indeksi

Gün	Seyreltme oranı	Çöken çamur hacmi (ml/l)	TAKM (g/l)	Çamur hacim indeksi (ml/g)
1. Gün	1:1	900	9,55	94,24
	1:2	440	9,55	92,15
	1:10	40	9,55	41,88
54. Gün	1:1	1000	16,19	61,77
	1:2	720	16,19	88,94
	1:10	120	16,19	74,12
64. Gün	1:1	1000	15,41	64,89
	1:2	620	15,41	80,47
	1:10	100	15,41	64,89

Çizelge 4.6 Devamlı besleme esnasında analiz edilen tüm parametrelere ait ortalama değerler

Parametre	Birim	Giriş suyu	Çıkış suyu	Çamur
KOİ <sub>tot</sub>	mg/l	572,1	381,9	-
KOİ <sub>çöz</sub>	mg/l	353,7	196,4	-
TAKM	g/l	0,06	0,11	17,64
UAKM	g/l	-	-	7,61
TOK	mg/l	194,2	142	-
TN	mg/l	59,9	66,3	-
pH	-	-	-	6,9 - 7,9
Sıcaklık	°C	-	-	13 - 18

Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi devamlı beslemede 13 – 18 °C sıcaklıkta elde edilen KOİ<sub>tot</sub> ve KOİ<sub>çöz</sub> uzaklaştırılma değerleri AAÇB reaktöründen iyi verim alındığını göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma daha önceden de bahsedildiği gibi 2 bölümden oluştuğu için, sonuçlar da 2 bölümde tartışılacaktır.

### 5.1 Kesikli Besleme Çalışmasının Sonuçları

#### 5.1.1 Elde Edilen $KOI_{tot}$ ve $KOI_{çöz}$ Uzaklaştırma Verimi

Çizelge 5.1 ve 5.2'den elde edilen  $KOI_{tot}$  ve  $KOI_{çöz}$  diyagramı Şekil 4.5 ve 4.6 olarak verilmişti.

Çizelge 5.1 ve 5.2 Kesikli besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait  $KOI_{tot}$  ve  $KOI_{çöz}$  değerleri

Gün	$KOI_{tot}$ [mg/l] Giriş suyu	$KOI_{tot}$ [mg/l] Çıkış suyu	Gün	$KOI_{çöz}$ [mg/l] Giriş suyu	$KOI_{çöz}$ [mg/l] Çıkış suyu
1	1068	156,6	1	<u>255,6</u>	148,2
2	618	220,2	2	187,2	115,2
3	537,6	246	3	185,4	111,6
4	398,4	376,8	4	115,8	64,2
5	356,4	346,8	5	59,4	72
8	1080	129	8	102,6	106,2
9	1416	139,8	9	117,6	49,8
11	750	266,4	11	65,4	58,98
12	918	178,2	12	126	154,2
16	1026	204,6	16	205,2	153
18	870	299,4	18	149,4	203,4
23	302	444	23	263	240
25	328	veri yok	25	209	142
30	366	154	30	160	139
36	320	620,4	36	88,4	48,18
43	209	150	43	94,7	121
46	437	183,7	46	90	104
53	158	90,4	53	0,56	29,25
57	171	110	57	66,1	91,6
60	144	83,3	60	70	78
65	178	102	65	102	<u>80,1</u>

$KOI_{tot}$  uzaklaştırma veriminin hesaplanmasında, Çizelge 5.1'de görülen, koyu renkle belirtilmiş ilk güne ait giriş suyu ve son güne ait çıkış suyu  $KOI_{tot}$  değerleri kullanılır.

$KOI_{çöz}$  uzaklaştırma veriminin hesaplanmasında, Çizelge 5.2'de görülen, altı çizilerek belirtilmiş ilk güne ait giriş suyu ve son güne ait çıkış suyu  $KOI_{çöz}$  değerleri kullanılır.

Verim hesabı Eşitlik 5.1'e göre yapılır.

$$\% \text{ KOİ Verimi} = \frac{(\text{Giriş suyu değeri} - \text{Çıkış suyu değeri})}{\text{Giriş suyu değeri}} \times 100 \quad (5.1)$$

$$\text{KOİ}_{\text{tot}} \text{ uzaklaştırma verimi} = [(1068 - 102) / 1068] \times 100 = 90.45$$

$\text{KOİ}_{\text{çöz}}$  uzaklaştırma verimi ise % 68.66 olarak bulunmuştur.

### 5.1.2 Elde Edilen TAKM Uzaklaştırma Verimi

Çizelge 5.3'den elde edilen TAKM diyagramı Şekil 4.8 olarak verilmiştir.

Çizelge 5.3 Kesikli besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait TAKM değerleri

Gün	TAKM [g/l] Giriş suyu	TAKM [g/l] Çıkış suyu
1	<b>0,2325</b>	0,069
2	0,12	0,025
3	0,1875	0,048
4	0,16	0,205
5	0,21	0,31
8	0,87	0,0105
9	0,91	0,012
11	0,3525	0,016
12	0,55	0,0575
16	0,855	0,05125
18	0,785	0,097
23	0,215	0,125
25	0,095	0,085
36	0,168	0,21
43	0,2935	0,0925
46	0,384	0,016
53	0,253	0,007
57	0,14	0,053
60	0,121	0,009
65	0,185	<b>0,026</b>

TAKM uzaklaştırma veriminin hesaplanmasında, Çizelge 5.3'de görülen, koyu renkle belirtilmiş ilk güne ait giriş suyu ve son güne ait çıkış suyu TAKM değerleri kullanılır.

Verim hesabı Eşitlik 5.1'e göre yapılır.

$$\text{TAKM uzaklaştırma verimi} = [(0.2325 - 0.026) / 0.2325] \times 100 = 88.82$$

TAKM uzaklaştırma verimi ise % 88.82 olarak bulunmuştur.

Kesikli besleme deneyi, sistemin kurulum aşaması da dahil olmak üzere yaklaşık 4 aylık bir çalışmadır.

Kesikli besleme çalışmasının yapılmasındaki en önemli etken, reaktör devamlı beslenmeye başlandığı anda elde edilebilecek uzaklaştırma verimleri hakkında bilgi edinmek istenmesiydi. Elde edilen  $KOI_{tot}$ ,  $KOI_{çöz}$  ve TAKM uzaklaştırma verimleri sırasıyla % 90.45, 68.66 ve 88.82'dir. Elde edilen bu sonuçlar da 14 – 15 °C sıcaklıkta dahi, AAÇB reaktörünün veriminin oldukça iyi olduğunu göstermektedir.



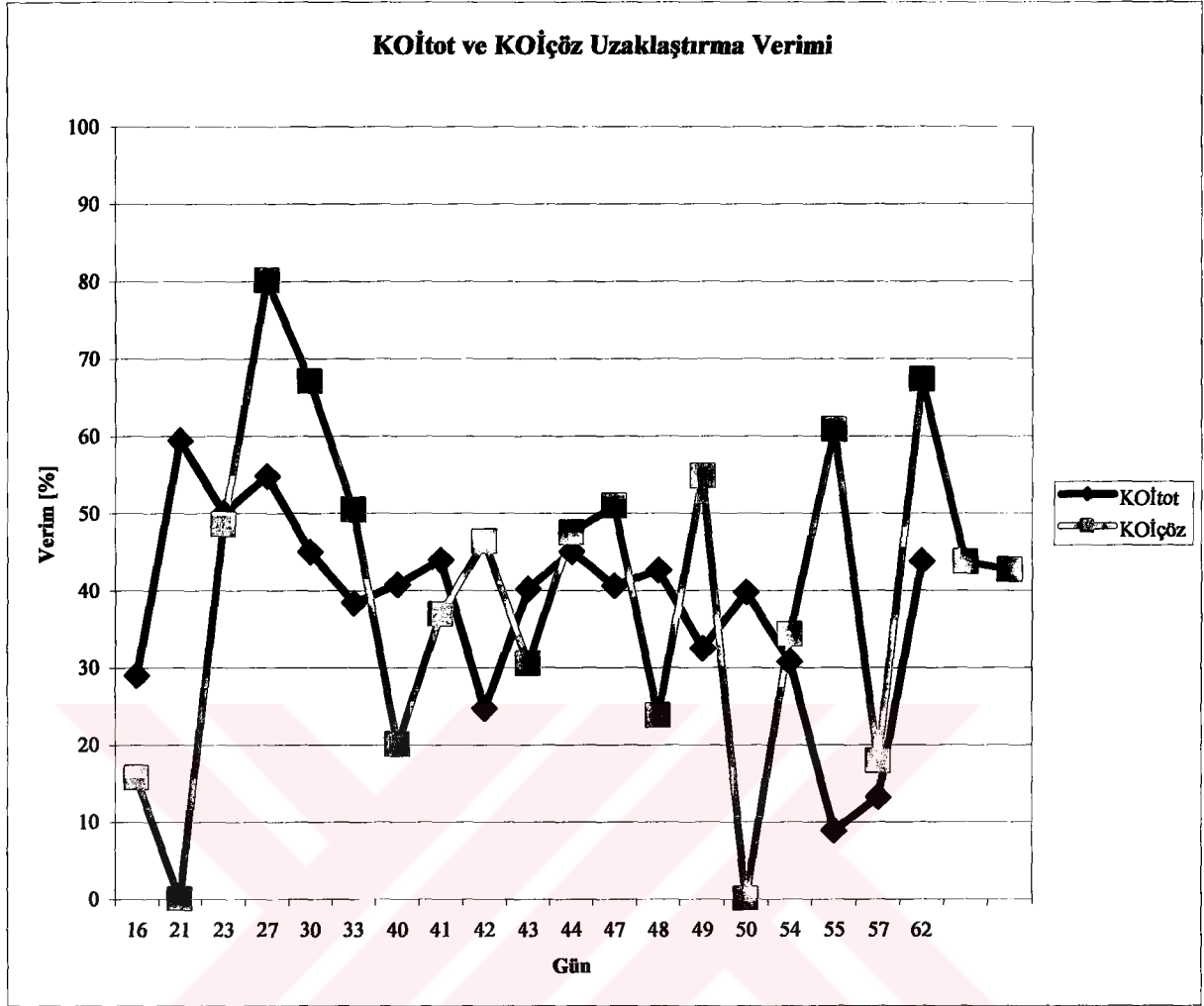
## 5.2 Devamlı Besleme Çalışmasının Sonuçları

### 5.2.1 Elde Edilen $KOI_{tot}$ ve $KOI_{\text{çöz}}$ Uzaklaştırma Verimi

Çizelge 5.4 ve 5.5'den elde edilen  $KOI_{tot}$  ve  $KOI_{\text{çöz}}$  diyagramı Şekil 4.16 ve 4.17 olarak verilmiştir. Uzaklaştırma verimleri ise Eşitlik 5.1'e göre hesaplanarak Şekil 5.1 elde edilmiştir.

Çizelge 5.4 ve 5.5 Devamlı besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait  $KOI_{tot}$  ve  $KOI_{\text{çöz}}$  değerleri ve uzaklaştırma verimleri

Gün	$KOI_{tot}$ [mg/l] Giriş suyu	$KOI_{tot}$ [mg/l] Çıkış suyu	$KOI_{tot}$ Uzaklaştırma verimi [%]	Gün	$KOI_{\text{çöz}}$ [mg/l] Giriş suyu	$KOI_{\text{çöz}}$ [mg/l] Çıkış suyu	$KOI_{\text{çöz}}$ Uzaklaştırma verimi [%]
16	476	338	28,99	16	368	310	15,76
21	424	172	59,43	21	veri yok	veri yok	veri yok
23	506	253	50	23	289,5	149	48,53
27	727	329	54,75	27	494	98,5	80,06
30	833	458	45,02	30	635	209	67,09
33	652	402	38,34	33	525	260,5	50,38
36	595	631	-6,05	36	570	456	20
40	452	268	40,71	40	304	191,8	36,91
41	519	291	43,93	41	358	192,2	46,31
42	503	379	24,65	42	354	246	30,51
43	451	270	40,13	43	354	186	47,46
44	496	273	44,96	44	340	167	50,88
47	481	286	40,54	47	286	218	23,78
48	593	340	42,66	48	344	155,6	54,77
49	616	416	32,47	49	veri yok	veri yok	veri yok
50	702	423	39,74	50	356	234	34,27
51	338	482	-42,6	51	352	138	60,79
54	660	457	30,76	54	352	289	17,9
55	669	610	8,82	55	358	117	67,32
57	646	561	13,16	57	352	198,2	43,69
62	676	380	43,79	62	352	202	42,61



Şekil 5.1 Devamlı besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularının KOİ<sub>tot</sub> ve KOİ<sub>çöz</sub> değerlerine ait uzaklaştırma verimi diyagramı

Devamlı besleme süresince elde edilen ortalama KOİ<sub>tot</sub> ve KOİ<sub>çöz</sub> verimleri sırasıyla; % 30.1 ve 44.16'dır. Bu değerler, henüz zamanla - değişmez (steady - state) durumuna henüz gelmemiş olan bir AAÇB reaktöründen sağlanan oldukça iyi değerlerdir.

### 5.2.2 Elde Edilen TAKM Uzaklaştırma Verimi

Çizelge 5.8'den elde edilen TAKM diyagramı Şekil 4.19 olarak verilmişti. Uzaklaştırma verimi ise Eşitlik 5.1'e göre hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6 Devamlı besleme esnasında elde edilen, giriş ve çıkış sularına ait TAKM değeri ve uzaklaştırma verimi

Gün	TAKM [g/l] Giriş suyu	TAKM [g/l] Çıkış suyu	TAKM Uzaklaştırma verimi [%]
16	0,071	0,033	53,52
21	0,0002	0,0245	-12150,00
23	0,06	0,074	-23,33
27	0,07	0,142	-102,86
30	0,07	0,138	-97,14
33	0,012	0,059	-391,67
36	0,007	0,054	-671,43
40	0,052	0,1095	-110,58
41	0,063	0,152	-141,27
42	0,044	0,108	-145,45
43	0,045	0,059	-31,11
44	0,047	0,103	-119,15
47	0,094	0,2	-112,77
48	0,083	0,186	-124,10
49	0,06	0,191	-218,33
50	0,14	0,057	59,29
51	0,176	0,251	-42,61
54	0,092	0,088	4,35
55	0,088	0,236	-168,18
57	0,045	0,085	-88,89
62	0,022	0,026	-18,18

Çizelge 5.6'da da görüldüğü gibi TAKM uzaklaştırma verimleri genelde negatiftir. Bir başka deyişle, TAKM uzaklaştırılmasından yeterli verim alınmamıştır. Bunun sebebi olarak da, yeni işleme alınmış olan AAÇB reaktörünün, henüz zamanla – değişmez duruma gelmemiş olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, reaktörde bulunan çamur yatağı tam olarak çökmemiş olup, çıkış suyuna karışmaktadır ve çıkış su kalitesini düşürmektedir.

Bir diğer görüş ise; giriş suyu debisindeki değişmelerin, ünitiden taşma hızını etkileyerek bazı katıların dışarı taşınmasına sebep olabildiğidir.

Devamlı besleme çalışmasının gerçekleştirilmiş olduğu sıcaklık 13 – 18 °C aralığındadır. Düşük uzaklaştırma verimleri, AAÇB reaktörünün henüz zamanla – değişmez durumuna gelmemiş olmasının yanısıra çalışılan ortamın sıcaklığının düşük olmasından da kaynaklanmaktadır.

Düşük sıcaklıkta elde edilmiş olan % 30'luk  $KOI_{tot}$  verimine, literatürde de rastlanmıştır (Grin vd., 1985; Van der Last ve Lettinga, 1992; Alaerts vd., 1993; Lew vd., 2003).

Çalışmanın bu kısmında, kuruluş aşamasından itibaren geçen yaklaşık 2 aylık sürede alınan örneklerden elde edilen sonuçlar verilmiştir ve değerlendirilmiştir.

Olumsuz parametrelerin ve değerlerin iyileştirilmesi yönündeki çalışmalar halen devam etmektedir.



**KAYNAKLAR**

- Alaerts, G.J., Veenstra, S., Bentvelsen, M. ve Vam Duijl, L.A. (1993), "Feasibility of Anaerobic Sewage Treatment in Sanitary Strategies in Developing Countries" *Wat. Sci. Tech.*, 27 (1):179 - 186.
- Al-Juaidy, A., Mimi, Z. ve Al-Sa'ed, R. (2003), "Palestinian Experience with Enhanced Pre-treatment of Black Wastewater from Birzeit University Using a UASB Septic Tank System", IWA, 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, April, 2003.
- Arceivala, S.J. (1998), Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- AWWARF (1999), Residential End Uses of Water, American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO.
- Cavalcanti, P.F.F., Medeiros, E.J.S., Silva, J.K.M. ve Haandel, A. (1999), "Excess Sludge Discharge Frequency for UASB Reactors", *Wat. Sci. Tech.*, 40(8):211 - 219.
- Chernicharo, C.A.L. and Cardoso, M.R. (1999), "Developed and Evaluation of a Partitioned Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactor for the Treatment of Domestic Sewage From Small Villages", *Wat. Sci. Tech.*, 40(8):107 - 113.
- Chernicharo, C.A.L. ve Nascimento, M.C.P. (2001), "Feasibility of a Pilot-scale UASB/Trickling Filter System for Domestic Sewage Treatment", *Wat. Sci. Tech.*, 44(4):221 - 228.
- Correa, S.M.B.B., Ruiz, E. ve Romero, F. (2003), "Evolution of Operational Parameters in a UASB Wastewater Plant", *Water SA.*, 29(3):345 - 352.
- De Man, A.W.A. (1990), "Anaerobic Purification of Raw Sewage with the Aid of Granular Sludge in UASB Reactors", Report Agricultural University of Wageningen, Department of Water Pollution Control.
- Demir, A., Kanat, G. ve Debik, E. (2000), Atıksu Arıtımında Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Metodlar, YTÜ Yayınları, İstanbul.
- Dick, R.I. ve Vesilind, P.A. (1969), "The SVI – What Is It?", *J. Water Pollut. Control Fed.* 41:1285.
- Elmitwalli, A.T., Zandvoort, M.H., Zeeman, G., Bruning, H. and Lettinga, G. (1998), "Low Temperature Treatment of Domestic Sewage in Upflow Anaerobic Sludge Blanket and Anaerobic Hybrid Reactors", *Wat. Sci. Tech.*, 39(5):177 - 185.
- EMWATER - Project "Prospects of Efficient Wastewater Management and Water Reuse in Turkey"
- Finch, J. ve Ives, H. (1950), "Settleability Indexes for Activated Sludge", *Sewage Ind. Wastes* 22:833.
- Florencio, L., Kato, M.T. ve de Moraes, J.C. (2001), "Domestic Sewage Treatment in Full-scale UASB Plant at Mangueira, Recife, Pernambuco", *Wat. Sci. Tech.*, 44(4):71 - 77.
- Frankin, R.J. (2001), "Full Scale Experience with Anaerobic Treatment of Industrial Wastewater", *Wat. Sci. Tech.*, 44(8):1 - 6.

- Grin, P., Roersma, R. ve Lettinga, G. (1985), "Anaerobic Treatment of Raw Domestic Sewage in UASB Reactor at Temperature from 9 – 20 °C", Proc. Seminar/Workshop: Anaerobic Treatment of Sewage, Amherst, Mass., 109 – 124.
- GTZ, Sectorial Project (1997), Anaerobic Trends. IAWQ conference review. WQI, July/August, sy:31 - 33.
- Gujer, W. ve Zehnder, A.J.B. (1983), "Conversion Processes in Anaerobic Digestion", *Wat. Sci. Technol.*, 15:127.
- Haandel, A.C. ve Lettinga, G. (1994), *Anaerobic Sewage Treatment. A Practical Guide for Regions With a Hot Climate*, John Wiley & Sons Ltd., New York.
- Halalsheh, M.M. (2002), "Anaerobic Pre-treatment of Strong Sewage-A Proper Solution for Jordan", PhD Thesis, Department of Environmental Technology, Agricultural University, Wageningen.
- Haskoning (Royal Dutch Consulting Engineers and Architects) (1989), "Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater Under Tropical Conditions-Final Report".
- Henzen, M. ve Harremoes, P. (1983), "Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors-A Literature Review", *Wat. Sci. Tech.*, 15:1.
- Jeris, J.S. ve McCarty, P. (1965), "Biochemistry of Methane Fermentation Using C14 Tracers", *JWPCF*, 37, 178.
- Kocasoy, G. (1989), *Atıksu Arıtma Sistemleri*, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası.
- Kalogo, Y. ve Verstraete, W. (2000), "Technical Feasibility of the Treatment of Domestic Wastewater by a CEPS-UASB System", *Env. Tech.*, 21:55 - 65.
- Journey, W.K. ve McNiven, S. (1996), "Anaerobic Enhanced Treatment of Wastewater and Options for Further Treatment", ACDI/VOCA, Washington DC.
- Kato, M., Field, J.A., Versteeg, P. ve Lettinga, G. (1994), "Feasibility of the Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) Reactors for the Anaerobic Treatment of Low Strength Soluble Wastewaters", *Biotechnol. Bioengineer.*, 44:469 - 479.
- Lettinga, G., Van Velsen, A.F.M., Hobma, S.W., Zeeuw, W.D. ve Klapwijk, A. (1980), "Use of Upflow Sludge Blanket Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Especially For Anaerobic Treatment", *Biotechnol. Bioengineer.*, 22:699 - 734.
- Lettinga, G., ve Hulshoff Pol W. (1991), "UASB - Process Design for Various Types of Wastewaters", *Wat. Sci. Tech.*, 24(8):87 - 107.
- Lew, B., Belavski, M., Admon, S., Tarre, S. ve Green, M. (2003), "Temperature Effect on UASB Reactor Operation for Domestic Wastewater Treatment in Temperate Climate Regions", *Wat. Sci. Tech.*, 48(3):25 - 30.
- Mergaert, K., Vanderhaegen, B. ve Verstraete, W. (1992), "Application and Trends of Anaerobic Pre-treatment of Municipal Wastewater", *Wat. Res.*, 26:1025 - 1033.
- Metcalf ve Eddy Inc. (1979), *Waste Water Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, McGraw-Hill, New York.
- Moigno, A.F. (1882), "Mouras' Automatic Scavenger", *Minutes of Proceedings of Institution of Civil Engineers*, XLVIII, 350.

- Öztürk, İ. (1999), *Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları*, Su Vakfı, İstanbul.
- Rinzema, A. (1989), "Anaerobic Treatment of Wastewater with High Concentrations of Lipids or Sulphate", PhD Thesis, University of Wageningen, Wageningen.
- Ruiz, I., Soto, M., Veiga, M.C., Ligeró, P., Vega, A. ve Blázquez, R. (1998), "Performance of and Biomass Characterisation in a UASB Reactor Treating Domestic Wastewater at Ambient Temperature", *Water SA.*, 24(3):215 - 221.
- Seghezzi, L., Guerra, R.G., Gonzalez, S.M., Trupiano, A.P., Figueroa, M.E., Cuevas, C.M., Zeeman, G. ve Lettinga G. (2002), "Removal Efficiency and Methanogenic Activity Profiles in a Pilot-scale UASB Reactor Treating Settled Sewage at Moderate Temperatures", *Wat. Sci. Tech.*, 45(10):243 - 248.
- Souza, J.T. ve Foresti, E. (1996), "Domestic Sewage Treatment in an Upflow Anaerobic Sludge Blanket-Sequencing Batch Reactor Systems", *Wat. Sci. Tech.*, 33(3):73 - 84.
- Tawfik, A., Zeeman, G., Klapwijk, A., Sanders, W., El-Gohary, F. ve Lettinga, G. (2003), "Treatment of Domestic Sewage in a Combined UASB/RBC System. Process Optimization for Irrigation Purposes", *Wat. Sci. Tech.*, 48(1):131 - 138.
- Torres, P ve Foresti, E. (2001), "Domestic Sewage Treatment in a Pilot System Composed of UASB and SBR Reactors", *Wat. Sci. Tech.*, 44(4):247 - 253.
- Tönük, G.U. (2004), "Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater in Upflow Sludge Blanket Reactors", *G.U. Journal of Science*, 17(2):141 - 154.
- Van der Last, A.R.M. (1991), "Anaerobic Treatment of Settled Sewage with the EGSB and the FB Processes", Report Agricultural University of Wageningen, Department of Water Pollution Control.
- Van der Last A.R.M. ve Lettinga, G. (1992), "Anaerobic Treatment of Domestic Sewage Under Moderate Climate (Dutch) Conditions Using Upflow Reactors at Increased Superficial Velocities", *Wat. Sci. Tech.*, 25: 167 - 178.
- Vieira, S.M.M. ve Garcia, A.D.Jr., "Sewage Treatment by UASB Reactor. Operation Results and Recommendations for Design and Utilization", 6<sup>th</sup> International IAWPRC Symposium, 1991, Sao Paulo, Brazil.
- Vieira, S.M.M., Carvalho, J.L., Bariján, F.P.O. ve Rech, C.M. (1994), "Application of the UASB Technology for Sewage Treatment in a Small Community at Sumare, Sao Paulo State", *Wat. Sci. Tech.*, 30(12):203 - 210.
- Wang, K. (1994), "Integrated Anaerobic and Aerobic Treatment of Sewage", PhD Thesis, Department of Environmental Technology, Agricultural University, Wageningen.
- Zeeman, G., ve Lettinga, G. (1999), "The Role of Anaerobic Digestion of Domestic Sewage in Closing the Water and Nutrient Cycle at Community Level", *Wat. Sci. Tech.*, 39(5):187 - 194.

**INTERNET KAYNAKLARI**

- [1] [www.cevreorman.gov.tr/su\\_00.htm](http://www.cevreorman.gov.tr/su_00.htm)
- [2] [www.gnap.unep.org](http://www.gnap.unep.org)
- [3] [www.uasb.org](http://www.uasb.org)
- [4] [www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/CEVRE/210599.htm](http://www.die.gov.tr/TURKISH/SONIST/CEVRE/210599.htm)
- [5] [www.emwater.org](http://www.emwater.org)
- [6] [www.schleicher-schuell.com](http://www.schleicher-schuell.com)
- [7] [www.hach-lange.de](http://www.hach-lange.de)
- [8] [www.bellsouthpwp.net/r/e/reginawilliams/control2.html](http://www.bellsouthpwp.net/r/e/reginawilliams/control2.html)



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	29.11.1981	
Doğum yeri	Adana	
Lise	1994 - 1999	Danişment Gazi Süper Lisesi
Lisans	1999 - 2003	Yıldız Üniversitesi Fen - Edebiyat Fak. Kimya Bölümü
Yüksek Lisans	2003 - 2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümü, Analitik Kimya Anabilim Dalı

**Staj yaptığı yerler**

2001	Mustafa Nevzat İlaç Fabrikası, İstanbul, Türkiye
2002	Karlsruhe Araştırma Merkezi, Karlsruhe, Almanya
2002	Start Akü Fabrikası, İstanbul, Türkiye
2004	Hamburg – Harburg Teknik Üniversitesi, Hamburg, Almanya