

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKSULARIN ENZİM İLAVESİYLE
ANAEROBİK OLARAK ARITILMASI**

Çevre Mühendisi Sezen ÇÖMEZ

**FBE Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. F. İlter AYDINOL

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
2. EVSEL ATIKSULAR VE ARITILMASI	3
2.1 Evsel Atıksuların Arıtılması	8
2.2 Evsel Atıksu Arıtılmasındaki Tarihsel Gelişmeler	12
2.3 Türkiye’de Evsel Atıksuların Arıtılması.....	14
2.4 Evsel Atıksuların Anaerobik Arıtılması.....	19
2.4.1 Anaerobik arıtmanın mikrobiyolojisi.....	20
2.4.2 Anaerobik arıtma teknolojileri.....	23
2.4.2.1 Anaerobik reaktör tipleri.....	23
2.4.3 Anaerobik sistemde arıtmayı etkileyen faktörler	29
2.4.4 Anaerobik sistemlerin izlenmesi ve kontrolü	36
3. YUKARI AKIŞLI ANAEROBİK ÇAMUR YATAKLI REAKTÖR	38
3.1 İşletmeye Alma Devresindeki Önemli Hususlar.....	39
3.2 Evsel Atıksuların HÇYR ile Arıtımı Konusundaki Çalışmalar	42
4. ENZİMLER	47
4.1 Enzimlerin Yapısal Özellikleri.....	47
4.2 Enzimlerin Uygulama Alanları	51
4.3 Atıksu Arıtımında Enzim Uygulamaları	55
5. MATERYAL ve METOT	60
5.1 Materyal	60
5.1.1 Anaerobik reaktör	60
5.1.2 Anaerobik çamurun reaktöre konulması	64
5.1.3 Reaktörün besleme suyu ile çalıştırılması.....	66
5.1.4 Çalışmada kullanılan doğal enzimatik temizleyicinin temini ve özellikleri.....	67

5.2	Metot	68
5.2.1	Analitik yöntemler	68
5.2.2	Deneysel çalışma	69
5.2.3	Optimum enzim miktarının belirlenmesi	70
6.	SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	72
6.1	Evsel Atıksu Bileşenleri.....	72
6.2	pH ve Sıcaklık.....	72
6.3	Alkalinite ve UYA	73
6.4	Amonyak Azotu (NH ₃ -N)	77
6.5	KOİ ve ÇKOİ Giderim Verimleri	79
6.6	AKM ve UAKM Giderim Verimleri	81
7.	SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR		86
İNTERNET KAYNAKLARI		89
EKLER.....		90
Ek 1 Ağustos 2008-Mayıs 2009 Dönemi Denenen Sistemler		90
ÖZGEÇMİŞ		104

SİMGE LİSTESİ

KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOİ _{top}	Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
UYA	Uçucu Yağ Asitleri
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TP	Toplam Fosfor
AKM	Askıda Katı Madde
HBS	Hidrolik Bekletme Süresi
OYH	Organik Yükleme Hızı
HÇYR	Havasız Çamur Yataklı Reaktör
HF	Havasız Filtre
HAYR	Havasız Akışkan Yataklı Reaktör
MHR	Membranlı Havasız Reaktör
UKM	Uçucu Katı Madde
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
MLSS	Aktif Çamur Havuzundaki Askıda Katılar
BTU	İngiliz Termal Birimi, 1 BTU = 0,293 Watt
NH ₄ ⁺	Amonyum İyonu
NH ₃	Amonyak
HAc	Asetik Asit
E. coli	Escheria coli
Y	Biyokütle Dönüşüm Hızı
F/M	Besin/Mikroorganizma Oranı
BOİ ₅	5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
HS ⁻	Bisülfid
N	Azot
P	Fosfor
NO ₃	Nitrat
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
SO ₄	Sülfat
H ₃ PO ₄	Fosforik Asit
Na	Sodyum
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
S	Kükürt
Ni	Nikel
Co	Kobalt
Mo	Molibden
Se	Selenyum
W	Tungsten
FeCl ₂	Demir Klorür
CoCl ₂	Kobalt Klorür
NiCl ₂	Nikel Klorür
NaOH	Sodyum Hidroksit
NaHCO ₃	Sodyum Bikarbonat
HCO ₃	Bikarbonat

KISALTMA LİSTESİ

SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
EPA	Environmental Protection Agency
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi
AYEDAŞ	İstanbul Anadolu Yakası Elektrik Dağıtım A.Ş.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Günlük su tüketimi	8
Şekil 2.2	Alıcı ortamlara göre deşarj edilen atıksu miktarları	14
Şekil 2.3	İllere göre oluşan atıksu miktarı	17
Şekil 2.4	Anaerobik ayrışma kademeleri	21
Şekil 2.5	Anaerobik mikroorganizmalar arasındaki enerji akımı	23
Şekil 2.6	Askıda çoğalan reaktör tipleri	25
Şekil 2.7	Biyofilm sistemlerinin reaktör tipleri	27
Şekil 2.8	Uygulanan diğer reaktör tipleri	28
Şekil 2.9	Metanojenlerin aktivitelerinin pH'a bağlı değişimi	30
Şekil 2.10	Biyogaz üretiminde sıcaklığın etkisi	31
Şekil 2.11	pH değişimine bağlı olarak amonyak ve amonyumun dönüşümü	33
Şekil 2.12	H ₂ S ve HS ⁻ 'in pH'a göre değişimi	34
Şekil 2.13	Farklı reaktörlerde sıcaklığın metanojenik aktiviteye etkisi	36
Şekil 3.1	HÇYR görünüşü	38
Şekil 3.2	Granülasyon sürecinde HÇYR'de çamur konsantrasyonu değişimi	41
Şekil 4.1	Enzimlerin yapısal özellikleri	47
Şekil 4.2	Enzim-substrat etkileşimleri	48
Şekil 4.3	Enzim-substrat ilişkisi	49
Şekil 4.4	Enzim-substrat ilişkisinde “anahtar kilit” varsayımı	50
Şekil 4.5	Enzim-substrat ilişkisinde “indüklenmiş” uyum hipotezi	51
Şekil 4.6	Reaktörün KOİ verimi (A) ile ham atıksuyun ve arıtılmış atıksuyun yağ-gres konsantrasyonunun (B) zamanla değişimleri	57
Şekil 4.7	Ham atıksuyun ve ön işlem gören atıksuyun KOİ giriş ve çıkış konsantrasyon değerleri	58
Şekil 4.8	Yağ-gres konsantrasyonu ve KOİ gideriminin zamanla değişimi	59
Şekil 5.1	Özdeş HÇYR'lerin genel görünüşü	61
Şekil 5.2	Termometrenin görünüşü	61
Şekil 5.3	Gaz çıkış hattı, su kaparı ve gaz sayacı arasındaki bağlantının görünüşü	62
Şekil 5.4	İşletmeye alınmış sistemlerin görünüşü	62
Şekil 5.5	Isıtıcıların ve su çeketinin üstten görünüşü	63
Şekil 5.6	Peristaltik pompa	63
Şekil 5.7	HÇYR'nin giriş yapısının görünüşü	64
Şekil 5.8	Tel ızgaranın görünüşü	64
Şekil 5.9	Steromikroskop için lama konulan granüllerin resmi	65
Şekil 5.10	Aşılana granüler çamurdan alınan bir granül	65
Şekil 5.11	Aşılana granüler çamurdan alınan başka bir granülün resmi	65
Şekil 5.12	Kurulan sistemlerin şeması	69
Şekil 5.13	Hazırlanan deney gruplarının görünüşü	70
Şekil 5.14	Deney gruplarının inkübatör içersindeki görünüşü	71
Şekil 6.1	Şahit ve enzimli reaktörlerde alkalinitenin zamanla değişimi	74
Şekil 6.2	Şahit ve enzimli reaktörlerde UYA konsantrasyonunun zamanla değişimi	75
Şekil 6.3	Şahit ve enzimli reaktörlerde UYA/Alkalinite oranının zamanla değişim	76
Şekil 6.4	Enzim ilavesinden sonra her iki reaktördeki UYA/Alk oranının zamanla değişimi	77
Şekil 6.5	Şahit ve enzimli reaktörlerde NH ₃ -N konsantrasyonunun zamanla değişimi	78
Şekil 6.6	Şahit ve enzimli reaktörlerde KOİ giderim veriminin zamanla değişimi	80
Şekil 6.7	Şahit ve enzimli reaktörlerde ÇKOİ giderim veriminin zamanla değişimi	80
Şekil 6.8	Şahit ve enzimli reaktörlerde AKM giderim veriminin zamanla değişimi	81
Şekil 6.9	Şahit ve enzimli reaktörlerde UAKM giderim veriminin zamanla değişimi	82

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Evsel atıksuda kişi başına oluşan kirlilik miktarları	3
Çizelge 2.2	Organik madde, nütreint ve metaller bazında atıksu karakterizasyonu	4
Çizelge 2.3	Evsel atıksu için kişi başına üretilen kirlilik yükleri	6
Çizelge 2.4	Çeşitli ülkelere ait evsel atıksu kompozisyonları	7
Çizelge 2.5	Önemli biyolojik arıtma birimleri	11
Çizelge 2.6	Bazı AB ülkelerinde arıtma tesisi sayısı	13
Çizelge 2.7	Belediye atıksu temel göstergeleri	15
Çizelge 2.8	Kanalizasyon şebekesi ve arıtma tesisi kullanım durumlarına göre belediye sayıları ve hizmet verilen nüfus yüzdeleri.....	18
Çizelge 2.9	Atıksu arıtma tesisi mevcut durumu.....	19
Çizelge 2.10	Başlıca anaerobik mikroorganizma grupları	20
Çizelge 2.11	Havasız arıtma sistemlerinin, hacimsel organik yük ve verim bakımından mukayesesi.	24
Çizelge 2.12	Tek ve iki kademeli işletmenin mukayesesi.....	29
Çizelge 2.13	Anaerobik arıtmada bazı iz elementlerin istenen konsantrasyonları	35
Çizelge 2.14	Proses kontrolünde izlenmesi gereken parametreler	37
Çizelge 4.1	Endüstriyel uygulamalar	53
Çizelge 4.2	Ön işlen gören ve ham atık suyun KOİ giderim verimleri.....	56
Çizelge 5.1	Sentetik atıksu içeriği	66
Çizelge 5.2	Evsel atıksu karakterizasyonu	66
Çizelge 5.3	Sisteme beslenen evsel atıksuyun özellikleri	67
Çizelge 5.4	Microcat ECL özellikleri.....	67
Çizelge 5.5	Microcat ECL uygulama koşulları	68
Çizelge 5.6	Çalışma süresi boyunca reaktörlerde izlenen ölçümler.....	68
Çizelge 5.7	Kesikli sistemde elde edilen sonuçlar	71
Çizelge 6.1	Şahit (A Reaktörü) ve enzim eklenen (B Reaktörü) reaktörlerdeki pH ve sıcaklık değişimi.....	73

ÖNSÖZ

Tez konumun belirlenmesinde ve bu tezin hazırlanması sırasında her türlü bilgi ve yardımını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. F. İlter Aydınol'a yüksek lisans tez çalışmamda gösterdiği ilgi, sabır ve destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışmaların yürütülmesi ve diğer her konuda gösterdikleri destekten ve sağladıkları araştırma imkânları dolayısıyla Yrd. Doç. Dr. Hürrem Bayhan'a ve Yrd. Doç. Dr. Eyüp Debik'e şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans tezim boyunca sağladıkları imkanlar için Yıldız Teknik Üniversitesi Araç İşletme Şefliği'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Fikirleri ile beni destekleyen tüm bölüm hocalarıma ve asistan arkadaşlarıma, özellikle deneysel çalışmalar boyunca her konuda desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Ahmet Adiller ile Su Ürünleri ve Çevre Mühendisi Merve Acarel'e sonsuz şükranlarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez oluşturulurken akademik çalışmaların yapılabilmesi için gerekli mali destek, 107G252 nolu TÜBİTAK Kamag projesi tarafından sağlanmıştır.

Son olarak, her zaman yanımda olarak bana destek veren sevgili annem Seher Hüseyinoğlu'na ve canım kardeşim Seda Çömez'e teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2009

Çevre Mühendisi
Sezen ÇÖMEZ

ÖZET

Bu çalışmada, evsel atıksuların anaerobik arıtım verimliliğinin incelemesi için laboratuvar ölçekli iki adet özdeş yukarı akışlı çamur yataklı reaktörle çalışılmıştır. Yerel bir çikolata fabrikasının anaerobik parçalama ünitesinden alınarak aşılana reaktörler, ilk aşamada (alışma devresi) glikoz çözeltisi beslemiş olup ikinci aşamada ise evsel atıksuyla beslenmeye geçilmiştir.

Çalışma boyunca reaktörler 24 saat bekletme süresinde 30°C’de eşit şartlar altında beslenmiştir. İlk 25 günün sonunda evsel atıksuların anaerobik gideriminde enzim ilavesinin sistem verimine etkisinin araştırılması için reaktörlerden birine ani yükleme ile enzim katılmıştır. Böylece bir tanesi kontrol reaktörü (A Reaktörü) diğeri ise enzim ilaveli reaktör (B Reaktörü) olmak üzere bir sistem kurulmuştur.

Enzim ilavesinden sonraki 27 gün 24 saat bekletme süresinde 6 g/m³-gün organik yükleme hızı sonucunda A ve B Reaktörlerinin KOİ, ÇKOİ, AKM ve UAKM verimleri sırasıyla “%65±5, %59±4, %92±1 ve 94±1” ve “ %75±8 ve %67±4” ve “ %94±2 ve %96±1” dir. A Reaktörünün çıkış suyunda amonyak konsantrasyonu ortalama 56 mg/l iken B Reaktöründe 52 mg/l’dir. UYA/Alkalinite oranı A Reaktöründe 0,4 iken B Reaktöründe 0,28’dir.

Çalışmanın ilerleyen zamanlarında (42.gün) KOİ giderim verimi A Reaktörü için %56±5 ve B Reaktörü için %54±6’dır. A Reaktörünün çıkış suyunda amonyak konsantrasyonu 48 mg/l iken B Reaktöründe bu değer 50 mg/l olarak bulunmuştur.

Elde edilen bu değerler enzim ile hidrolizin evsel atıksuların anaerobik arıtımında yaklaşık bir aylık bir süreçte ilave bir giderim verimi sağladığını göstermektedir. Kullanılan Mirocat ECL enziminin böyle bir arıtma sistemine her ay yeniden ilavesiyle arıtma veriminde süreklilik sağlanabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Havasız Çamur Yataklı Reaktör (HÇYR), Evsel Atıksu, KOİ, Amonyak

ABSTRACT

In this study two identical laboratory-scale up-flow sludge blanket reactors have been used to determine anaerobic treatment efficiency of domestic wastewater. The reactors were inoculated by a local chocolate factory's anaerobic digested sludge. During the first stage, the reactors were operated by glucose solution and in the second stage, they were operated by domestic wastewater.

Throughout the study, the reactors were operated in 30°C temperature for 24 h hydraulic retention times under the identical conditions. At the end of the first 25 days, enzyme was added to one of the reactors with immediate loading to investigate the effect of enzyme supplement for anaerobic treatment efficiency of domestic wastewater. Thus, the system was built as control reactor (Reactor A) and enzyme supplied reactor (Reactor B).

During 27 days, the reactors were operated in 24 hours hydraulic retention times and 6 g/m³-day organic loading rates. Removal efficiencies were obtained in A Reactor and B Reactor for COD, COD_{dis}, SS and VSS were “65±5 %, 59±4%, 92±1% and 94±1%” and “75±8%, 67±4%, 94±2% and 96±1%” for both systems, respectively. Ammonia concentration of A Reactor and B Reactor effluents were 56 mg/l and 52 mg/l for both systems, respectively. The VFA/Alkalinity ratio was 0,4 in the A Reactor and 0,28 in the B Reactor.

After 42 days of the study the COD and COD_{dis} removals in A Reactor and B Reactor were 56±5 % and 54±6 %, respectively. Ammonia concentrations of A Reactor and B Reactor effluents were 48 mg/l and 50 mg/l for both systems, respectively.

These values shows that better removal efficiencies were achieved in anaerobic treatment of domestic wastewater by enzymatic hydrolysis almost in a month. It is considered that by adding the Mirocat ECL enzyme to the this kind of system in every mounth again could provide permanency.

Key Words: Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), Domestic Wastewater, COD, Ammonia

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde yaşayan milyonlarca insanın günlük kullanımları sonucu oluşan evsel atıksuların miktarı ve karakterleri sürekli değişmektedir. Bu değişim için pek çok neden sıralayabiliriz; teknolojinin önlenemez gelişimi ve beraberinde yenilerini de ekleyerek getirdiği tehlikeli kimyasal maddeler, sosyal refah seviyesinin yükselmesiyle artan su tüketimi, artan dünya nüfusu gibi. Bu genel nedenlerin yanı sıra ülkeden ülkeye değişen tüketim ve beslenme alışkanlıkları, iklim özellikleri, kanalizasyon sistemi ve kişi başına tüketilen su miktarı da evsel atıksuların karakterlerini değiştirmektedir.

Kanalizasyon sistemlerinin yerleşim bölgelerinde kurulmaya başlanması ile beraber evsel atıksuların arıtılmasında yaygın olarak fiziksel ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Biyolojik arıtma yöntemleri doğadaki biyolojik olaylar incelenerek geliştirilmiş, organik maddelerin giderilmesini ve uzaklaştırılmasını sağlayan yöntemlerdir. Biyolojik arıtma yöntemlerini genel olarak aerobik ve anaerobik olarak ikiye ayırabiliriz. Aerobik yöntemlerin beraberinde getirdiği yüksek maliyet, enerji ve alan ihtiyacı gibi olumsuzluklar bilim adamlarını alternatif arıtma yöntemi arayışlarına itmiştir. Son yıllara kadar havasız arıtma proseslerinin evsel atıksular için uygun olmadığı düşünülmekteydi. Günümüzde geliştirilen reaktör tipleri ile evsel atıksuların havasız olarak arıtımı çok iyi karışım sağlanarak yüksek hidrolik yüklemelerde bile mümkün olmaktadır. Böylece düşük yatırım maliyeti, az ekipman ihtiyacı ve metan gazı üretilmesiyle ortaya çıkarttığı enerji kaynağı ile evsel atıksuların arıtılmasında anaerobik sistemler yükselişe geçmiştir.

Bugüne kadar evsel atıksuların arıtımı konusunda mevcut kurulu tesisler Havasız Çamur Yataklı Reaktör (HÇYR) olarak inşa edilmiştir. Havasız Filtre ve Havasız Akışkan Yataklı Reaktörlerde yürütülen çalışmalar ise araştırma safhasında kalmıştır (Öztürk, 2007). İtalya, İspanya ve Portekiz gibi Akdeniz ülkelerinin yanı sıra Hindistan, Kolombiya, Brezilya gibi farklı ülkelerde de HÇYR'ler başarıyla işletilmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Bu çalışmanın amacı; son yıllarda yapılan araştırmalara konu olan evsel atıksuların anaerobik arıtılmasının sağlanması sırasında kullanılan hibrit reaktör kombinasyonları, ilave kimyasal veya ileri arıtma yöntemleri olmaksızın evsel atıksuların daha düşük maliyetle arıtılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaç için 80 cm yüksekliğinde ve 13 cm çapında iki adet reaktör kullanılmıştır. Reaktörlerden bir tanesi kontrol maksadıyla kullanılmış olup, diğer reaktöre enzim katılarak giderim verimleri izlenmiştir.

Bu çalışmanın önemi ise evsel atıksuların arıtımında ülkemiz gerçeklerine uygun ekonomik ve sürdürülebilir bir arıtma yönteminin yaygınlaşmasına öncülük etmektir.

Çalışma kapsamında her bir reaktörden biriktirilen çıkış suyunda alınan numunelerde pH, toplam alkalinite, KOİ, NH₃-N, AKM, UAKM ve UYA parametreleri analiz edilmiştir.

2. EVSEL ATIKSULAR VE ARITILMASI

Evsel atıksu terimi genel olarak; kentsel, ticari ve endüstriyel alanlardan merkezi yerlerde arıtmak için kanalizasyon sistemleri sayesinde toplanan veya taşınan sıvı atıklar olarak tanımlanır (Metcalf ve Eddy,2003).

Diğer bir tanımla, tuvaletlerden kaynaklanan atıksu ile mutfak ve banyolardan kaynaklanan atıksu karışımı ‘gri su’ veya ‘evsel atıksu’ olarak adlandırılır. Evsel atıksular düşük kirlilik yüklerine rağmen, yüksek oranda partiküler KOİ, yağlı bileşikler, proteinler ve deterjanlar içermeleri sebebiyle oldukça kompleks yapıdadır (Öztürk, 1999).

Evsel atıksuların önemli bir miktarı insan atıklarından, mutfak suyu, sebze ve yiyecek atıklarından meydana gelmektedir. Evsel atıksuda kişi başına oluşan kirlletici madde yükleri Çizelge 2.1’de verilmiştir (Samsunlu, 1996).

Çizelge 2.1 Evsel atıksuda kişi başına oluşan kirlilik miktarları (Samsunlu, 1999)

Kirlletici Kaynak	İnorganik Katı Madde (mg/l)	Organik Katı Madde (mg/l)	Toplam (mg/l)	BOİ ₅ (mg/l)
İnsan dışkısı	19	63	82	24
Mutfak ve banyo	11	47	58	30
İçme suyu	50	-	50	-
Toplam	80	110	190	54

Evsel atıksular organik madde, nütrient ve metaller bazında karakterizasyonu Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Organik madde, nütrient ve metaller bazında atıksu karakterizasyonu

(Henze vd., 1995)

Parametre (mg/l)	Atıksu Tipi			
	Kuvvetli	Orta	Zayıf	Seyreltik
BOİ				
Nihai	530	380	230	150
7 Günlük	400	290	170	115
5 Günlük	350	250	150	100
Çözünmüş	140	100	60	40
Çöz. kolay ayrışan	70	50	30	-
Çökelmiş	250	175	110	70
KOİ				
Toplam	740	530	320	210
Çökelmiş	530	370	230	150
Çözünmüş	300	210	130	80
TOK	250	180	110	70
Karbonhidrat	40	25	15	10
Protein	25	18	11	7
Yağ asitleri	65	45	24	18
Yağlar	25	18	11	7
Deterjan	15	10	6	4
Yağ-gres	100	70	40	30
Fenol	0.2	0.15	0.10	0.05
Deterjan-anyonik	15	10	6	-
Toplam Azot	80	50	30	20
Amonyak	50	30	18	12
Nitrit	0.1	0.1	0.1	0.1
Nitrat	0.5	0.5	0.5	0.5
Organik	30	20	12	8
Toplam Fosfor	23	16	10	6
Ortafosfat	14	10	6	4
Polifosfat	5	3	2	1
Organik fosfat	4	3	2	1
Alüminyum	1000	600	400	250

Çizelge 2.2 Devam

Arsenik	5	3	2	1
Kadmiyum	4	2	2	1
Krom	40	25	15	10
Kobalt	2	1	1	0.5
Bakır	100	70	40	30
Demir	1500	1000	600	400
Kurşun	80	65	30	25
Mangan	150	100	60	40
Cıva	3	2	1	1
Nikel	40	25	15	10
Gümüş	10	7	4	3
Çinko	300	200	130	80

Evsel atıksuyun içeriği olduğu yere ve zamana göre farklılık gösterebilir. Bu farklılıklar atıksuyun olduğu bölgenin ekonomik durumuna, sosyal yaşam tarzına, iklimsel özelliklere, su tüketimine ve mevcut kanalizasyon sisteminin tipine göre değişir.

Kişi başına üretilen günlük veya yıllık kirletici yükleri evsel atıksuyun kompozisyonunun değerlendirilmesinde önemli rol oynar. Çizelge 2.3 farklı ülkeler için evsel atıksulardaki kirletici yüklerini vermektedir. Çizelge 2.4'te ise çeşitli ülkelere ait evsel atıksu kompozisyonları özetlenmektedir.

Evsel atıksularda bulunan kirletici konsantrasyonlarındaki salınımların en büyük sebebi infiltrasyondur. Su tüketiminin kısıtlı olduğu ülkelerde, evsel atıksu nispeten daha konsantre bulunur. Çizelge 2.4'te görüldüğü gibi, Ürdün ve benzeri ülkelerde, evsel atıksuyun toplam KOİ konsantrasyonu (KOI_{top}) 1,5-2,0 g/L değerleri arasında gözlenirken, batı ülkelerinde gerçekleşen yüksek su tüketimlerinden dolayı KOI_{top} konsantrasyonu 0,2-0,7 g/L değerleri arasında değişmektedir (Öztürk, 2007).

Çizelge 2.4 Çeşitli ülkelere ait evsel atıksu kompozisyonları (Öztürk, 2007)

Kirletici	Birim	Amman1 Ürdün	Ramallah2 Filistin	Nablus2 Filistin	Gaza2 Filistin	İstanbul3 Türkiye	Cali4 Kolombiya	Pedregal4 Brezilya	Hollanda
AKM	mg/l	900	1290	1188	265	140-755	215	429	-
Azot	mg/l	150	-	-	-	-	-	-	-
TKN	mg/l	-	79	120	90	22-165	24	44	45
Organik N	mg/l	-	-	-	-	-	7	10	-
NH ₄	mg/l	-	51	104	80	25-49	17	34	-
NO ₃	mg/l	-	0.6	1.7	1.3	0.005-0.17	-	-	-
Fosfor	mg/l	25	-	-	-	5-32	1.3	11	18
PO ₄	mg/l	-	13.1	7.5	30	2.15-4.3	-	8	14
Cl	mg/l	-	350	1155	550	85-120	-	110	-
Alkalinite	mg/l	850	-	-	-	90-550	120	388	350
Sülfat	mg/l	90	132	137	137	-	-	18	15
BOİ ₅	mg/l	770	525	1185	500	73-680	95	368	231
KOİ	mg/l	1830	1390	2115	740	220-1600	267	727	520
TOK	mg/l	220	-	-	-	-	-	-	-

1. Kaynak : (Al-Salem 1987)

2. Kaynak : (Nashashibi ve Van Duijl, 1995)

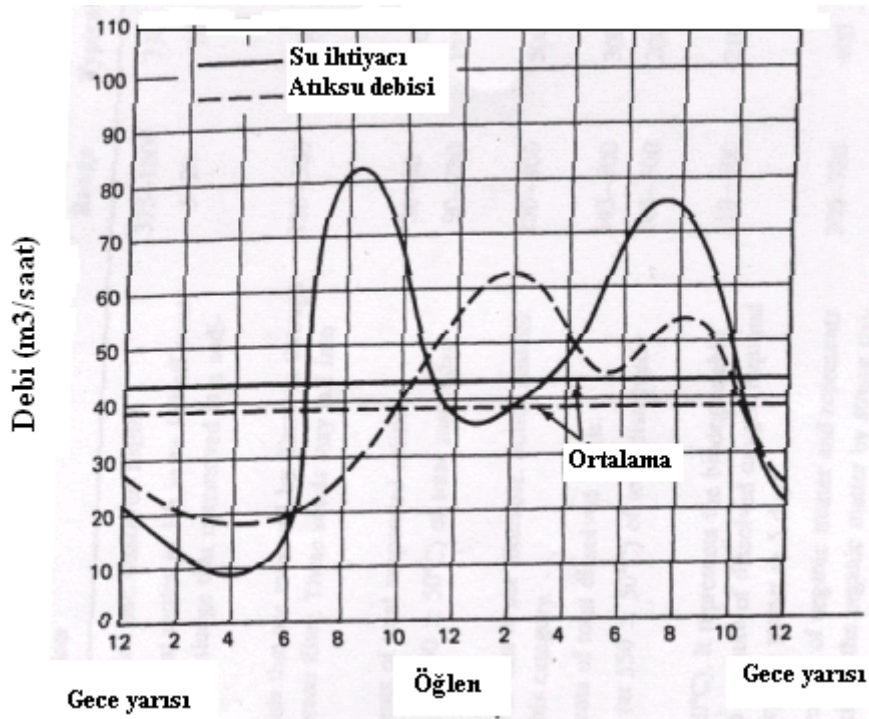
3.Kaynak: (Orhon vd., 1997)

4.Kaynak: (Van Haandel ve Lettinga, 1994)

Evsel atıksu tüketiminde saatlik, günlük ve mevsimsel olarak geniş dalgalanmalar görülmektedir. Bu dalgalanmalara yol açabilecek bazı durumlar aşağıda özetlenmiştir. (Qasim,1999)

- İş günlerinde tatil günlerinden daha yoğun tüketim olmaktadır.
- Sıcak ve kuru günlerde, soğuk veya nemli günlere göre daha fazla tüketim olmaktadır.
- Temmuz ve Ağustos ayları maksimum tüketim yapılan aylardır.
- Gün içinde tüketimde 2 pik noktası bulunmaktadır. Bunlardan biri günlük aktivitelerin başladığı sabah saatleri diğeri de gece saatleridir.
- Sabah 4 suları minimum su tüketimini meydana gelmektedir.

Şekil 2.1’de gün içersinde meydana gelen su tüketimi ve atıksu debisinde meydana gelen dalgalanmalar gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Günlük su tüketimi (Qasim, 1999)

2.1 Evsel Atıksuların Arıtılması

Günümüzde mevcut organik bileşiklerin sayısı yarım milyonu geçmekte olup her yıl 10.000 yeni organik bileşik bu sayıya eklenmektedir. Buna bağlı olarak kentsel atıksularda bu bileşiklerin birçoğuna rastlanmaktadır. Özellikle uçucu organik bileşikler ve zehirli uçucu organik bileşiklere bu atıksularda rastlanmaktadır. Organik bileşiklerin istenilen seviyede arıtılması klasik sistemlerle mümkün olmamaktadır.

Bu nedenle sistemlerin modifikasyonu gerekmektedir. Uçucu organik bileşikler ve zehirli uçucu organik bileşikler gibi organik maddelerin kaynağında kontrolü ve kanalizasyona verilmemesi sorununun ortadan kalmasına önemli katkı sağlayacaktır (Samsunlu, 2006).

Toplum sağlığını ve ekolojik dengeyi korumak için her ülke kendi ürettiği atıksu miktar ve tipine, alıcı ortamların çeşit ve özümseme kapasitesine göre kanun ve yönetmelikler oluşturmuştur. “Türkiye'nin su kaynaklarının potansiyelinin korunmasını, en iyi şekilde kullanımının sağlanmasını ve su kirlenmesinin önlenmesini ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere, gerekli hukuki ve teknik esasları düzenlemek için su kirliliği koruma yönetmeliği hazırlanmıştır. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği aşağıdaki konularda yasal düzenlemeler ve önlemler getirmektedir” (SKKY, 2003).

- Alıcı su ortamlarının (kıta içi yüzeysel suların, yer altı sularının ve deniz sularının) çeşitli kullanım amaçlarına göre sınıflandırılmasını sağlayacak su kalite kriterlerinin belirlenmesi
- İçme ve kullanma suyu temin edilen kıta içi yüzeysel sularla ilgili kirletme yasaklarının konması ve özel amaçlı çevre koruma alanlarının tahsisi
- Göller, yeraltı suları ve denizlerle ilgili kirletme yasakları konması
- Atıksuların alıcı ortamlara doğrudan boşaltım esaslarının getirilmesi, atıksu deşarj standartlarının konulması
- Alıcı su ortamlarına her türlü evsel ve/veya endüstriyel nitelikli atıksuların doğrudan deşarjı için deşarj izin belgesi alınması zorunluluğu
- Atıksuların kentsel atıksu altyapı tesislerine boşaltım esaslarının belirlenmesi
- Tehlikeli ve zararlı atıkların yönetimi
- Ücret ve ceza ödeme esasları
- Yönetmeliğin yürürlüğe girdiği tarihten itibaren mevcut olan her türlü gerçek ve tüzel kişilerle kurum, kuruluş ve işletmelere Yönetmelikte verilen esaslara uyum sağlamaları için belirli geçiş sürelerinin verilmesi (SKKY, 2003).

SKKY’de belirtilen standartlara ulaşmak için evsel atıksu arıtımında gerçekleşen temel aşamalar şunlardır:

- Askıda katı maddelerin uzaklaştırılması
- Zararlı ağır metal ve zehirli bileşiklerin uzaklaştırılması
- Biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin uzaklaştırılması
- Alıcı ortam durumuna bağlı olarak azot ve fosforun uzaklaştırılması
- Patojenik organizmaların yok edilmesi

Evsel atıksuların arıtılması işlemi, mekanik, biyolojik ve kimyasal proseslerden oluşan arıtma kademelerinde gerçekleştirilir. Birinci kademe mekanik ve fiziksel proseslerden, ikinci kademe biyolojik proseslerden ve son olarak üçüncü kademe ileri arıtma proseslerinden oluşur (Samsunlu, 2006).

Birinci kademede fiziksel işlemler sonucunda yüzen ve çökebilan maddeler, ikinci kademede biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar sonucu organik maddelerin büyük bir çoğunluğu, üçüncü kademede ise önceki kademelerde arıtılmayan maddeler (inert maddeler) ile yeteri kadar arıtılmamış azot ve fosfor giderilir. Bu kademede genellikle askıda giderim de uygulanır (Samsunlu, 2006).

Bunun yanı sıra fiziksel, kimyasal, biyolojik veya doğal arıtmanın bir arada değişik şekillerde kullanıldığı “Bileşik Sistemlerde” günümüzde oldukça geniş bir uygulama alanı bulmaktadır.

Günümüzde teknolojinin gelişimiyle beraber atıksu arıtma sistemleri de sürekli ilerlemektedir. Mevcut atıksuya bu sistemlerden hangisinin uygulanacağını atıksuyun karakterizasyonunun doğru olarak belirlenmesine bağlıdır. Özellikle organik bileşikler açısından atıksu karakteri devamlı değişmekte olduğundan karakterizasyon çalışmaları yeni arıtma metotlarının belirlenmesinde etkilidir. Laboratuvar ve pilot arıtma tesisleri ile bahsedilen değişimlerle ilgili veriler belirlenmelidir.

Arıtma yöntemlerini, işlemler bakımından üç başlıkta toplayabiliriz. Birinci yöntem fiziksel işlemlerden faydalanılarak geliştirilmiş olan mekanik arıtma yöntemidir. İkinci yöntem mikroorganizmaların ve biyokimyasal reaksiyonların rol oynadığı biyolojik arıtma yöntemidir. Diğer bir yöntemse kimyasal proseslere dayanan arıtma yöntemidir (Samsunlu, 2006).

- Mekanik Arıtma Yöntemi
- Biyolojik Arıtma Yöntemi
- Kimyasal Arıtma Yöntemi

Arıtma yöntemleri, arıtma sistemlerini oluşturan arıtma kademeleridir. Arıtma işlemlerinde hangi yöntem veya yöntemlerin kullanılacağı; arıtma işlemlerinin hangi kademeye kadar sürdürülebileceği, deşarj yapılacak yüzeysel su için konmuş su kalitesi limitlerine bağlıdır. Atıksuyun özelliklerine ve alıcı ortam deşarj standartlarına (arıtma ihtiyacına) bağlı olarak yöntemlerden hangisinin uygulanacağına ve arıtmanın hangi kademede sonlandırılacağına karar verilir ve atıksu gerekli görülen arıtma kademelerinden geçirilir. Böylece arıtma işleminin belli bir kademede durdurulması yeterli görülebilir veya tüm arıtma işlemi boyunca gerek görülmeyen bazı kademeler aradan çıkarılabilir (Samsunlu, 2006).

Değişik karakterdeki atıksular için değişik arıtma yöntemleri kullanılabilir. Evsel atıksular için genelde fiziksel ve biyolojik arıtma yöntemleri tercih edilirken endüstriyel atıksuların arıtımı için kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, her üç yönteminde kullanıldığı arıtma sistemleri de mevcuttur (Biokim Arıtma,2007).

Mekanik arıtma fiziksel yöntemlerle yapılan arıtma işlemlerini içermektedir. Bu nedenle bu arıtmaya Fiziksel Arıtma veya I. Kademe Arıtma denmektedir. Mekanik arıtmada, atıksu içerisinde bulunan ve daha sonraki arıtma kademelerindeki işlemleri yavaşlatacak, engelleyecek ve ekipmanları bozacak özellikte, gözle görülür nitelikteki kirleticiler giderilir. Mekanik arıtma birimleri aşağıda sıralanmıştır (Biokim Arıtma,2007).

- Izgara
- Elek
- Öğütücü
- Kum Tutucu
- Yağ Tutucu
- Çökeltme Havuzu
- Yüzdürme (Flotasyon) Havuzu

Biyolojik arıtma yöntemleri, doğada rastlanan biyolojik olaylardan faydalanılarak geliştirilmiş organik maddelerin bertarafını ve ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayan yöntemlerdir. Bu arıtmaya II. Kademe Arıtma'da denilmektedir (Samsunlu, 2006).

Biyolojik arıtma birimlerinden önemlileri Çizelge 2.5'te verilmiştir (Samsunlu, 2006).

Çizelge 2.5 Önemli biyolojik arıtma birimleri (Samsunlu 2006)

Yapay Biyolojik Yöntemler	Doğal Biyolojik Yöntemler
Aktif çamur havuzu	Arazide arıtma (zemine sızdırma, sulama, yüzeyden akıtma v.s.)
Damlatmalı filtre	Su ortamında arıtma (su bitkileri, sulak alanlar v.s.)
Biyodisk	
Stabilizasyon havuzu	
Çamur çürütme bendi	

Son olarak evsel atıksuların kimyasal işlemlerle arıtımında normal olarak kendi halinde çökelemeyen maddelerin kimyasal madde ilavesi ile bertarafı (dezenfeksiyonu) gerçekleştirilebilir (Samsunlu, 2006).

Evsel atıksuların arıtma yöntemlerini daha ayrıntılı ifade etmek gerekirse, evsel atıksu arıtımında şu temel işlemler kullanılmaktadır (Biokim Arıtma, 2007).

- Ön Arıtma Üniteleri
 - Kaba ızgaradan geçirme
 - İnce ızgaradan geçirme
 - Debi ölçümü
 - Atıksuyun terfi edilmesi
 - Kum tutucudan geçirme
 - Ön çökeltme havuzları
- İkincil Arıtma Üniteleri
 - Biyolojik arıtma
 - Son çökeltme havuzları
 - Dezenfeksiyon
- Üçüncül Arıtma Üniteleri
 - Azot giderimi
 - Fosfor giderimi
 - Atıksu çamuru arıtımı işlemleri

Ön arıtma üniteleri olarak gruplandırabileceğimiz; kaba ızgaralar, ince ızgaralar ve kum tutucular her atıksu arıtma tesisinde yer alan ünitelerdir. İkincil arıtma üniteleri olarak çok değişik sistemler kullanılabilmektedir. Hangi biyolojik arıtma sisteminin kullanılacağına, proje alanının özelliklerini ve gerekli arıtma verimi ihtiyacını dikkate alarak karar verilir. Arıtılmış atıksular eğer sulama suyu olarak kullanılacaksa dezenfeksiyon işlemi tatbik edilmektedir. Eğer projelendirilecek arıtma sistemi azot ve fosfor gideriminden herhangi birini veya her ikisini de kapsıyorsa bu sistem üçüncül arıtma olarak adlandırılmaktadır. Tüm biyolojik arıtma sistemlerinde yan ürün olarak çamur oluşmaktadır. Bu oluşan çamurun çevreye zarar vermeyecek şekilde bertarafı için değişik çamur çürütme (stabilizasyon) sistemleri ve susuzlaştırma ekipmanları kullanılmaktadır (Biokim Arıtma,2007).

2.2 Evsel Atıksu Arıtılmasındaki Tarihsel Gelişmeler

Giderek artan dünya nüfusu ve sanayileşmenin başlaması ile yüzeysel sular daha fazla kirlenmeye başlayarak salgın hastalıklar artmıştır

1840 senesinde inşasına başlanan Hamburg kentinin kanalizasyon sisteminin tamamlanmasından 12 yıl sonra ilk defa Chicago’da kanalizasyon sistemi inşasına başlanmıştır (Samsunlu,2006).

Atıksuların arıtılmasında damlatmalı filtre 1901, İmhoff tankı 1909, klorla dezenfeksiyon 1914 ve aktif çamur sistemi 1916 yıllarında uygulama alanı bulmuştur. 1948 yılında Amerika’da kurulu bulunan arıtma tesisleri ile toplam 145 milyon nüfusun 45 milyonuna hizmet verebilirken, 1992 yılında 250 milyon nüfusun 181 milyonuna toplam 15 613 hizmet götürülmüştür. Bu tesislerin 9086’sı biyolojik, 3678’i ileri arıtma kademelerine sahiptir. 2012 yılında 291 milyon olması tahmin edilen nüfusa 18 966 arıtma tesisi hizmet götüreceği belirlenmiştir (Samsunlu, 2006).

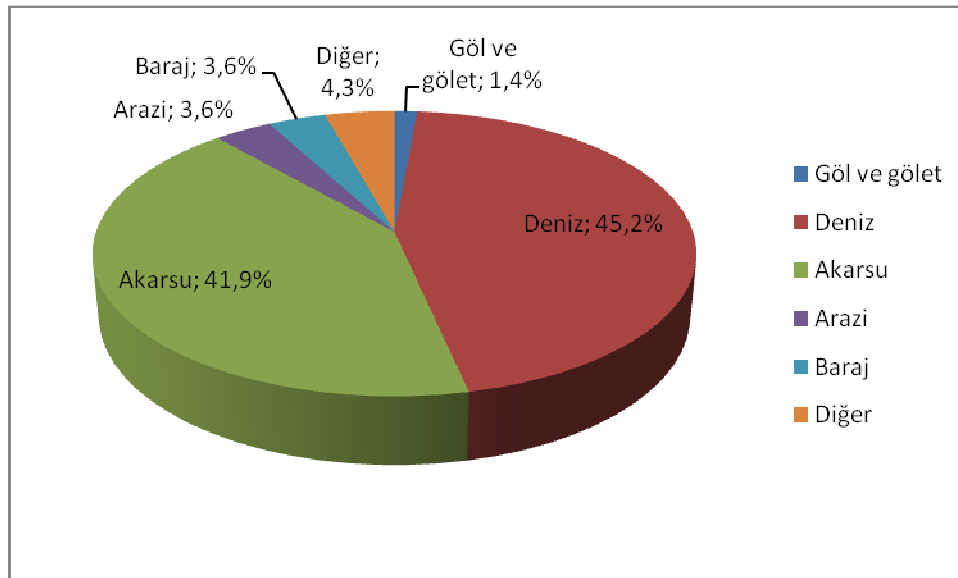
Avrupa Çevre Ajansı (EPA) tarafından verilen Avrupa Birliği ülkelerine ait arıtma tesisine bağlı nüfus değerlerinin farklı yıllardaki gelişimi Çizelge 2.6’da görülmektedir. Kullandıkları suları en üst seviyede arıtan ülkelerin başında Finlandiya, İsveç, Danimarka ve Almanya gelmektedir.

Çizelge 2.6 Bazı AB ülkelerinde arıtma tesisi sayısı (Samsunlu, 2006)

Arıtma Türü				
Ülke	Yılı	Mekanik (1. kademe)	Biyolojik (2. kademe)	İleri (3.kademe)
Danimarka	1985	16	58	4
	1990	14	42	29
	1997	2	3	83
Yunanistan	1980	0	0.5	0
	1985	0.7	9.3	0
	1990	0.7	10.7	0
	1997	32	14	10
İrlanda	1985	0.2	11	0
	1990	23	21	0
	1997	35	26	0
İspanya	1985	13.2	15.8	0
	1990	11	41	0.9
	1997	10.6	37.3	3.3
İsveç	1985	1	11	82
	1990	0	9	85
	1997	0	6	87
İngiltere	1985	6	52	24
	1990	8	65	14
	1997	10	62	18

2.3 Türkiye’de Evsel Atıksuların Arıtılması

Devlet İstatistik Enstitüsü, 1994 yılından itibaren Çevre İstatistikleri kapsamında belediye teşkilatı kurulmuş olan tüm belediyelerdeki kanalizasyon hizmetleri ve arıtma tesislerinin mevcut durumu ile ilgili verileri derlemektedir. 2003 yılı itibariyle belediye teşkilatı kurulmamış belediyelere anket uygulanmamıştır. Tüm belediyelere uygulanan 2006 yılı Belediye Kanalizasyon İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre, 3225 belediyeden 2321'ine kanalizasyon şebekesi ile hizmet verildiği tespit edilmiştir. 2006 yılında kanalizasyon şebekeleri ile toplanan 3,37 milyar m³ atıksuyun %45,2'si denize, %41,9'u akarsuya, %3,6'sı baraja, %3,6'sı araziye, %1,4'ü göl-gölete ve %4,3'ü diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Alıcı ortamlara göre deşarj edilen atıksu miktarları 2006 (TÜİK 2008)

2006 yılı itibariyle belediyelere ait 184 atıksu arıtma tesisi bulunmakta ve bu tesisler ile 362 belediyeye hizmet verilmektedir (TÜİK,2008).

Kanalizasyon şebekesinden deşarj edilen 3,37 milyar m³ atıksuyun 2,14 milyar m³'ü atıksu arıtma tesislerinde arıtılmıştır. Arıtılan atıksuyun %43,3'üne biyolojik, %33,4'üne fiziksel ve %23,3'üne gelişmiş arıtma uygulanmıştır (TÜİK,2008).

Arıtılan atıksuyun %56,8'i denize, %1,3'ü göl ve gölete, %33'ü akarsulara, %0,6'sı araziye, %3,9'u baraja ve %4,4'ü ise diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir (TÜİK,2008).

2006 yılında kanalizasyon şebekesi ile hizmet edilen belediye nüfusunun Türkiye nüfusu içindeki payı %72, toplam belediye nüfusu içindeki payı ise %87 olarak tespit edilmiştir (TÜİK,2005).

Çizelge 2.7 Belediye atıksu temel göstergeleri, 1994-2006 (TÜİK,2005)

	1994	1995	1996	1997	1998	2001	2002	2003	2004	2006
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet edilen belediye sayısı	1 188	1 347	1 383	1 493	1 647	2 003	2 115	2 195	2 226	2 321
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet edilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	52	54	55	58	59	64	65	67	68	72
Kanalizasyon şebekesi ile hizmet edilen nüfusun belediye nüfusuna oranı (%)	69	72	72	77	78	81	83	85	86	87
Deşarj edilen atıksu miktarı (milyon m ³ /yıl)	1 510	1 633	1 679	1 922	2 091	2 301	2 498	2 861	2 923	3 367
Atıksu arıtma tesisi sayısı	41	46	55	68	80	126	145	156	172	184
Fiziksel	3	3	7	9	13	25	28	31	35	26
Biyolojik	38	43	48	59	67	98	114	121	133	135
Gelişmiş	-	-	-	-	-	3	3	4	4	23
Atıksu arıtma tesisi toplam kapasitesi (milyon m ³ /yıl)	585	607	691	1 246	1 559	2 287	2 358	2 805	3 410	3 648
Fiziksel	377	377	413	641	739	770	771	1 046	1 385	1 329
Biyolojik	209	231	278	605	820	1 250	1 320	1 484	1 750	1 511
Gelişmiş	-	-	-	-	-	267	267	275	275	808
Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı (milyon m ³ /yıl)	150	169	202	366	590	1 194	1 312	1 586	1 901	2 140
Fiziksel	78	79	90	146	282	325	344	482	599	714
Biyolojik	72	90	112	220	308	663	746	877	1 071	927
Gelişmiş	-	-	-	-	-	206	222	227	231	500
Atıksu arıtma tesisi ile hizmet edilen belediye sayısı	71	75	82	106	119	238	248	278	319	362
Atıksu arıtma tesisi ile hizmet edilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	10	9	10	14	17	27	28	30	36	42

Atıksu arıtma tesisleri ile hizmet edilen belediye nüfusunun oranı ise Türkiye nüfusu içinde %42, toplam belediye nüfusu içinde %51 olarak hesaplanmıştır (TÜİK,2005).

Türkiye’de iller bazında oluşan atıksu miktarları ise aşağıdaki şekilde verilmiştir. Şekil 2.3.’den de görüldüğü gibi atıksu oluşumu en çok İzmir, İstanbul ve Ankara illerinde meydana gelmektedir. Onları takip eden iller ise Konya, Antalya, İçel, Adana ve Gaziantep’tir. Atıksu oluşumunda üçüncü sırayı ise Kayseri, Balıkesir, Malatya, Şanlıurfa, Kocaeli ve Diyarbakır almıştır (TÜİK,2005).

Türkiye’de en çok atıksu oluşan illerin kanalizasyon şebekesi ve arıtma tesisi kullanım durumlarına göre belediye sayıları ve hizmet verilen nüfus yüzdeleri aşağıdaki Çizelge 2.8’de verilmiştir. Bu çizelgede görülüyor ki belediyeler sınırları içindeki halka yeterli hizmeti götürememektedir. Ülkemizde 53 430 733 nüfusa sahip toplam 3 227 belediyenin, 215 ile anket yapılmıştır. Bu belediyeleri bazıları nüfusun %98,2 bazıları da %36,5’ine hizmet vermektedir (TÜİK,2005).

Çizelge 2.8 Kanalizasyon şebekesi ve arıtma tesisi kullanım durumlarına göre belediye sayıları ve hizmet verilen nüfus yüzdeleri 2003, (TÜİK,2005)

İller	Toplam belediye sayısı	Belediye nüfusu	Anket uygulanan belediye sayısı	Derin deniz deşarjı yapan belediye sayısı	Belediye sayısı	Belediye nüfusu içindeki yüzdesi	Belediye sayısı ⁽¹⁾	Belediye nüfusu içindeki yüzdesi ⁽¹⁾
TÜRKİYE	3 227	53 430 733	3 215	66	2 164	81,3	239	51
Adana	53	1 569 018	53	-	30	91,3	2	4,9
Ankara	67	3 713 368	67	-	57	98,2	10	87,6
Antalya	103	1 413 190	103	7	30	36,5	19	27,9
Balıkesir	53	701 847	52	7	45	89,5	6	6,2
Diyarbakır	32	954 496	32	-	27	93,3	-	-
Gaziantep	28	1 075 904	28	-	23	95,3	4	85,2
İçel	70	1 404 078	70	4	24	68,8	4	14,4
İstanbul	74	9 838 860	74	8	60	88,3	43	81,5
İzmir	89	3 015 330	89	5	72	89,7	14	71,8
Kayseri	68	901 777	65	-	36	81,6	8	58,1
Kocaeli	45	1 090 259	45	1	38	89,3	3	17,2
Konya	206	1 920 108	206	-	102	73,3	8	4,2
Malatya	54	686 355	54	-	40	88,5	1	1,7
Şanlıurfa	26	914 185	26	-	14	80,3	4	49,2

(1) Başka bir belediyenin arıtma tesisini kullanan belediyelerin nüfusları bağlı oldukları ile dahil edilmiştir.

Son olarak Türkiye'deki Atıksu Arıtma Tesislerinin genel durumuna bakacak olursak, araştırılan 3 215 belediyenin 36 tanesi fiziksel arıtma, 118 tanesi biyolojik arıtma ve 4 tanesi gelişmiş arıtma yapmaktadır (Çizelge 2.9). Bu tesislerin toplam kapasitelerinin %56,83'ünü kullanılmaktadır (TÜİK,2005).

Çizelge 2.9 Atıksu arıtma tesisi mevcut durumu, 2003(1) (TÜİK,2005).

İller	Anket uygulanan belediye sayısı	Fiziksel arıtma			Biyolojik arıtma			Gelişmiş arıtma		
		Tesis sayısı	Kapasite	Arıtılan miktar	Tesis sayısı	Kapasite	Arıtılan miktar	Tesis sayısı	Kapasite	Arıtılan miktar
TÜRKİYE	3 215	36	1 059 322	478 574	118	1 523 325	906 658	4	294 896	250 155
Adana	53	-	-	-	2	6 258	2 893	-	-	-
Ankara	67	-	-	-	4	284 592	245 609	-	-	-
Antalya	103	-	-	-	15	64 535	45 548	-	-	-
Balıkesir	52	1	9 125	3 030	3	32 711	15 992	-	-	-
Diyarbakır	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gaziantep	28	1	29	29	2	81 609	76 142	-	-	-
İçel	70	2	2 212	124	2	14 485	13 578	-	-	-
İstanbul	74	6	914 067	415 424	4	88 505	59 448	2	46 550	18 996
İzmir	89	2	14 235	4 745	3	3 473	1 836	2	248 346	231 159
Kayseri	65	-	-	-	1	78 475	35 133	-	-	-
Kocaeli	45	-	-	-	3	83 499	35 586	-	-	-
Konya	206	1	51	51	5	12 670	8 099	-	-	-
Malatya	54	-	-	-	1	371	365	-	-	-
Şanlıurfa	26	2	4 438	1 073	2	28 051	25 758	-	-	-

(1)Faal olmayan atıksu arıtma tesislerinin kapasiteleri dahil edilmiştir.

* (1000m³/yıl)

2.4 Evsel Atıksuların Anaerobik Arıtılması

Anaerobik arıtma, organik atıkların oksijensiz ortamda anaerobik mikroorganizmalarca biyolojik proseslerle parçalanarak CH₄, CO₂, NH₃ ve H₂S gibi son ürünlere dönüştürülmesi olarak tanımlanır. Organik çökeltilerin çürümesi sonucu metan ortaya çıktığı 18. yüzyıldan beri bilinmektedir. 19. yüzyılın ortalarında bu ayrışmada bakterilerin rol oynadığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte havasız arıtmanın evsel atıksu arıtma tesisi çamurlarının çürütülmesinde kullanılabileceği 1881 yılında Moigno tarafından ortaya konmuştur. Bu tarihten itibaren havasız arıtmanın atıksu arıtımındaki uygulamaları ile ilgili çalışmalarda proses biyokimyası ve mikrobiyolojisi alanındaki gelişmelere paralel bir artış görülmüştür. 1989 ile 1994 yılları arasında dünya çapında anaerobik arıtma sayısı 300'den 800'ün üzerine çıkmıştır (Öztürk, 2007).

Yakın zamana kadar sadece biyolojik arıtma çamurlarının çürütülmesinde uygulanan havasız arıtma süreci son yıllarda endüstriyel ve evsel atıksuların arıtılmasında da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Öztürk, 2007).

Son yıllara kadar havasız arıtma proseslerinin 20°C'nin altındaki sıcaklıklar ve seyreltik atıksular için uygun olmadığı düşünülmekteydi. Günümüzde geliştirilen reaktör tipleri ile düşük sıcaklıktaki ve seyreltik atıksuların havasız olarak arıtımı yüksek hidrolik yüklemelerde ve çok iyi karışım sağlanarak mümkün olmaktadır. Düşük sıcaklıklarda evsel atıksu arıtımında HÇYR uygulamaları Hollanda'da 1976'dan beri çalışılmaktadır. Dünyada kurulu ilk havasız evsel atıksu arıtma tesisi 1989 yılında Hindistan'da işletilmeye alınmıştır ve 5000 m³/gün kapasiteli bu tesis halen işletilmektedir. Bu tesis havasız çamur yataklı reaktörle işletilmektedir. Aynı yıllarda Kolombiya'nın Kali kentinde 64 m³ hacimli bir deneme tesisi kurulmuştur. Brezilya'nın Sao Paulo kentinde araştırma ve deneme tesis olarak kurulan 120 m³'lük havasız reaktör ise 1991 yılında devreye girmiştir. Bu arada Kolombiya'da kurulan 2 adet 3300 m³ hacimli HÇYR ile Kanpur'daki 1200 m³ hacimli HÇYR'ler de 1991 yılında işletmeye alınmıştır. Haydarabad kentinde Dünya Bankası mali desteği ile kurulması kararlaştırılan 50000 m³/gün kapasiteli büyük bir HÇYR bulunmaktadır. Ayrıca Latin Amerika, Endonezya, Guatemala ve Meksika gibi ülkelerde evsel atıksular gerçek ölçekli HÇYR teknolojisi ile başarıyla arıtılmaktadır. İtalya, İspanya, Portekiz gibi Akdeniz ülkeleriyle Mısır gibi Afrika ülkelerinde de başarılı çalışmalar bulunmaktadır (Öztürk, 2007). Bugüne kadar evsel atıksuların arıtımı konusunda mevcut kurulu tesisler HÇYR olarak inşa edilmiştir. Havasız Filtre ve Havasız Akışkan Yataklı Reaktörlerde yürütülen çalışmalar ise araştırma safhasında kalmıştır (Öztürk, 2007).

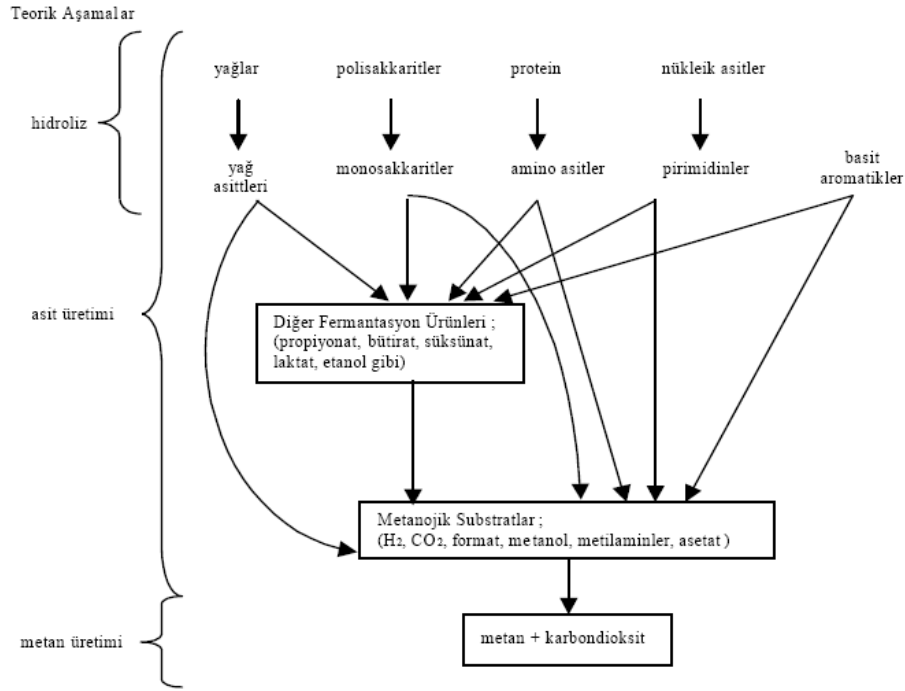
2.4.1 Anaerobik arıtmanın mikrobiyolojisi

Havasız arıtma farklı mikroorganizma gruplarının rol oynadığı oldukça kompleks bir biyokimyasal süreçtir. Bu ayrışma prosesinde genelde başlıca iki grup bakterinin, asit bakterileri ve metan bakterileri, etkin görev üstlendiği bilinmektedir (Çizelge 2.10).

Çizelge 2.10 Başlıca anaerobik mikroorganizma grupları (Öztürk,1999)

Asit Bakterileri	Bütrik ve propiyonik asit üretenler
	Asetik asit üretenler
Metan Bakterileri	Asetik asit kullananlar
	Hidrojen kullananlar

Havasız arıtma proseslerinde kompleks organik bileşiklerin metan gazına dönüştürülmesinde çeşitli tür ve özellikte mikroorganizma grupları yer almaktadır. Bu kompleks organiklerin havasız ayrıştırılması hidroliz, asit üretimi ve metan üretimi olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir. Bu aşamalar Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Anaerobik ayrışma kademeleri (Öztürk, 1999)

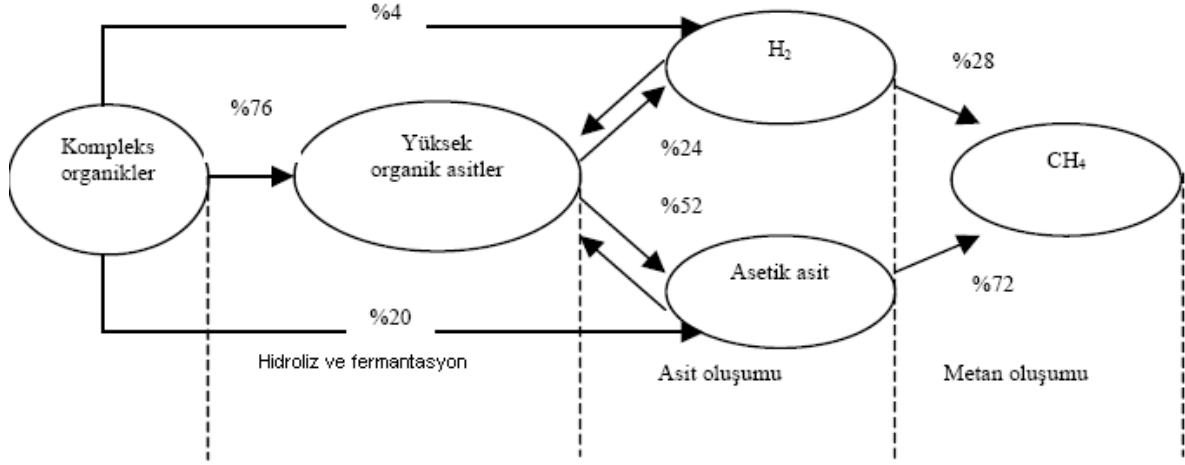
Birinci aşama, katı veya çözünmüş halde olan yağ, polisakkarit, protein ve nükleik asit gibi kompleks organik maddeler daha basit yapıya dönüştürülür. Aksi takdirde, bu maddeler hücre zarından içeri taşınamazlar. Bu şekilde uzun zincirli polimerik organiklerin çözülmesi adımına hidroliz kademesi denir. Hidroliz hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve çamur yaşıdır. Yağ, selüloz ve lignin gibi hidroliz hızı yavaş olan maddeler içeren atıksuların havasız arıtımında hidroliz kademesi hız sınırlayıcıdır (Öztürk, 1999).

Asit üretimi olan ikinci kademede ise asetojenik bakteriler birinci kademe hidroliz ürünlerini asetik, bütirik, izobütirik, valerik ve izovalerik asit gibi ikiden daha fazla karbonlu yağ asitlerine dönüştürürler. Kararlı şartlarda yağ asitleri konsantrasyonu oldukça düşük seviyelerdedir (100-300 mg HAc/l). Kararlı olmayan şartlarda örneğin havasız reaktörün devreye alınması aşamasında uçucu asit konsantrasyonu 1000-1500 mg HAc/l'e ulaşabilir (Öztürk, 1999).

Üçüncü aşama olan metan üretimi kademesinde de diğer iki kademede oluşan ürünler metan üreten bakterilerce metan gazına dönüştürülür. Metan üretimi yavaş bir süreç olup havasız arıtmada hız sınırlayıcı safhadır. Metan, asetik asidin parçalanması ve/veya H_2 ile CO_2 'in sentezi sonucu üretilir. Oluşan metanın yaklaşık %30'u H_2 ve CO_2 'den, %70'i ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır (Öztürk, 1999).

Anaerobik bozunma prosesi süresince birbirleriyle etkileşim halinde olan mikroorganizmaların birinci grubu, organik polimer ve yağların, monosakkaritler ve amino asitler gibi daha basit ve temel yapılara hidrolizinden sorumludurlar. İkinci grup anaerobik bakteriler ise parçalanmış ürünleri organik asitlere dönüştürmekten sorumludur. Bu gruptaki mikroorganizmalar metanojik olmayan, fakültatif ve zorunlu anaerobik bakterilerdir. Bunlar literatürde “asitojenler” veya “asit üreticiler” olarak adlandırılırlar. Bu hidroliz ve fermentasyon bakterilerine *Clostridium* spp., *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium* spp., *Desulphovibrio* spp., *Corynebacterium* spp., *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus* ve *Escherichia coli* gibi örnekler verilebilir. Üçüncü grup mikroorganizmalar da temel olarak, hidrojen ($H_2 + CO_2$) ve asetik asitten, metan gazı ve CO_2 üretenlerdir. Diğer substrat kaynakları format, metanol ve metilaminlerdir. Bu mikroorganizmaların gerçekleştirdiği metan oluşum reaksiyonları aşağıda verilmektedir. Bu organizmalar anaerobiktirler ve “metanojenler (archaea)” veya “metan üreticiler” olarak adlandırılırlar. Bu organizmalarda, çubuksu olan *Methanobacterium* ve *Methanobacillus* ile küresel olan *Methanococcus* ve *Methanosarcina* proseste hakim durumdadır (Öztürk, 1999).

Havasız arıtma prosesleri içerisinde birbirleriyle ilişki halinde olan tüm bu mikroorganizmalar arasındaki enerji akımı şematik olarak Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Sistem stabilitesinin amaçlanan şekilde elde edilebilmesi için yukarıda ifade edilmiş olan hidroliz, fermentasyon ve metanojenler birbirleriyle dinamik dengede olmaları gereklidir. Bu stabilitenin sağlanabilmesi temel olarak, ortamda oksijenin ve inhibe edici kimyasalların bulunmamasına ve gerekli çevre şartlarının sağlanmasına bağlıdır (Öztürk, 1999).



Şekil 2.5 Anaerobik mikroorganizmalar arasındaki enerji akımı (Öztürk, 1999)

2.4.2 Anaerobik arıtma teknolojileri

Havasız reaktörler üst kısmı kapalı ve hava ile temas olmayacak şekilde inşa edilirler. Tank içerisinde karışım atıksuyun tabandan beslenmesi, oluşan biyogazın hareketi veya geri devri, mekanik karıştırıcılar ve çamur geri devri yoluyla sağlanmaktadır. Ayrışmanın daha hızlı ve tam olması için reaktör ısıtılır. Bunun için gerekli olan enerji, proses esnasında oluşan biyogazdan sağlanabilmektedir. Tüm reaktörlerde sıvı-katı-gaz fazlarının birbirlerinden ayrılması amaçlanmaktadır (Öztürk vd., 2005).

2.4.2.1 Anaerobik reaktör tipleri

Hacimsel organik yükün olabildiğince artırılarak havasız reaktör hacminin küçültülmesi ve karşılaşılan sorunların giderilmesi amacı ile çeşitli Havasız Arıtma Sistemleri geliştirilmiştir. Havasız arıtma alanında uygulanmakta olan başlıca reaktör tipleri aşağıda sırasıyla verilecektir (Öztürk vd., 2005).

Hacimsel organik yük ve KOİ giderme verimleri bakımından genel mukayeseleri ise Çizelge 2.11' de verilmiştir.

Çizelge 2.11 Havasız arıtma sistemlerinin, hacimsel organik yük ve verim bakımından mukayesesi (T= 30-40 °C) (Öztürk vd., 2005).

Reaktör Tipi	Hacimsel Organik Yük kgKOİ/m ³ -gün	KOİ Giderme Verimi %
Havasız temas reaktörü HTR	1-6 (3-5)*	80-95
Havasız filtre HF	1-18(7-10)	80-95
Havasız akışkan yataklı reaktör HAYR	1-60 (15-30)	80-90
Havasız çamur yataklı reaktör HÇYR	5-15 (10-15)	85-95
Membranlı havasız reaktör MHR	1-30 (15)	85-95

Parantez içindeki değerler kurulu tesisteki uygulanmış yüklerdir.

Anaerobik reaktör tipleri; mikroorganizmaların askıda çoğaldığı reaktörler ve biyofilmlili reaktörler olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır (Öztürk vd., 2005).

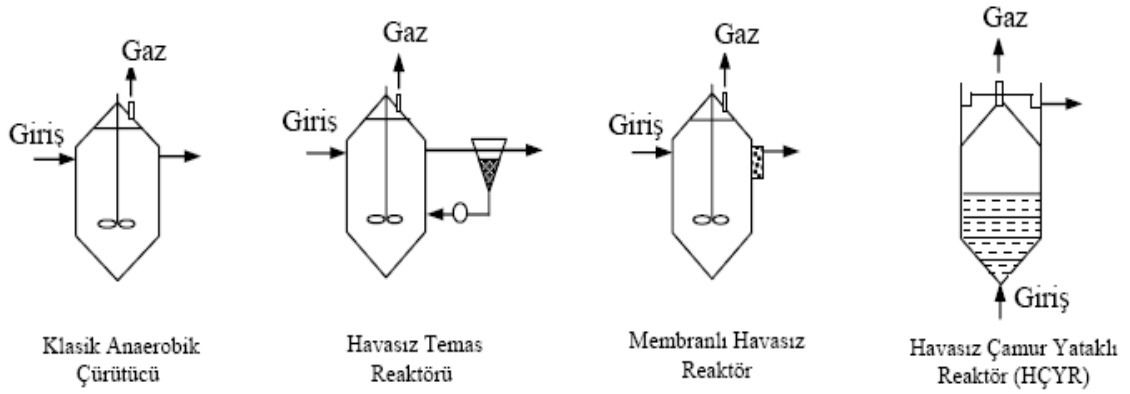
Askıda Çoğalan Sistemler

Askıda çoğalan sistemlerin başlıca uygulamaları aşağıda sıralanmıştır.

- Klasik Havasız Çürütücüler
- Havasız Temas Reaktörleri
- Membranlı Havasız Reaktörler
- Havasız Çamur Yataklı Reaktörler'dir.

Klasik anaerobik çürütücüler; tam karışım ve geri devirsiz reaktörlerdir. Geri devirsiz olduklarından çamur yaşı hidrolik bekletme süresine eşittir. Yavaş çoğalan metan arkelerinin sistemden yıkanmaması için çamur yaşı en az 10 gün olmalıdır. Bu nedenle, 15- 20 günlük hidrolik bekletme sürelerinde işletilirler ve buna bağlı olarak reaktör hacimleri büyüktür. Hem hacmin büyüklüğü, hem de çıkış suyundaki askıda katı madde konsantrasyonunun yüksekliği bu sistemlerin en önemli mahzurlarındandır. Uygulamada, atıksuların arıtılmasından ziyade arıtma çamurlarının çürütülmesi için kullanılırlar (Öztürk vd., 2005).

Askıda çoğalan sistemlere ait reaktör tipleri Şekil 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.6 Askıda çoğalan reaktör tipleri (Öztürk vd., 2005)

Havasız temas reaktörleri, klasik anaerobik çürütücülere çöktürme tankı ilavesi ile geliştirilmiştir. Çöktürme tankının olması, sisteme geri devir yapılabilmesini mümkün kıldığından daha uzun çamur yaşlarında işletilebilirler. Böylece, hidrolik bekletme süresi azaltılarak reaktör hacimleri küçültülmektedir. Bu sistemlerde yaşanan en önemli problem çamurun çöktürülmesidir. Çöktürme tankına çıkış suyu ile aktarılan biyokütle çöktürme esnasında da biyogaz oluşturmaya devam eder ve çöktürme istenilen etkinliğe ulaşamaz (Öztürk vd., 2005).

Çöktürme verimini arttırmak için vakumlu gaz ayırıcı, termal şok veya plakalı çökelticiler kullanılmaktadır (Öztürk vd., 2005).

Membranlı havasız reaktörlerde ana reaktör tam karışımli bir anaerobik reaktör olup katı madde ayrımı için çökeltme yerine ultrafiltrasyon birimi kullanılır. Membran üzerinde akarken suyu alınan biyokütle sisteme geri döndürülerek çamur yaşı istenilen seviyede tutulmaktadır. Genelde KOİ değeri 10000 mg/l'nin üzerindeki konsantre ve debisi küçük endüstriyel atıksular için uygun sistemlerdir (Öztürk vd., 2005).

Havasız çamur yataklı reaktörlerde (HÇYR) arıtma, reaktörün alt kısmındaki granüler çamur yatağı ile bunun üst kesimindeki çamur örtüsünde gerçekleşir. Beslenen atığın organik madde muhtevasına bağlı olarak kuvvetli atıklarda çamur yatağı, seyreltik atıklarda ise çamur örtüsü arıtmada ağırlıklı rol oynamaktadır. Reaktöre atıksu tabandan, uygun yukarı akım hızında verilerek reaktörde çamur yatağının genişlemesi sağlanır ve bunun sonucu olarak, granüler çamur ile atıksuyun teması artırılmış olur. Çamur yatağının genişlemesi ile etkin çökeltmenin birlikte sağlanabilmesi için gerekli akım hızı 0,5-3 m/saat'tir. Ancak, gerekli karışımın sağlanamadığı durumlarda bu değer 6,0 m/saat'e kadar artırılabilir (Öztürk vd., 2005).

Yapılan araştırmalar sonucunda, granüler çamur oluşumunun 15 mg/l Ca^{+2} ile arttırılabileceği ve 5-10 mg/l Fe^{2+} ilavesi ile de filamentli bakterilerin oluşumunun engellenebileceği bulunmuştur. Stabilitesi sağlanmış reaktörün çamur yatağında 100-150 gr/l konsantrasyonlarında çamur olabilmektedir. Bu da, yüksek organik yüklemelerde çalışmayı mümkün kılmaktadır. Pilot tesislerde yapılan çalışmalarda, 15-40 kg KOİ/m³-gün aralığındaki yüklemelerde 3-8 saatlik bekletme süreleri ile etkin giderme verimlerinin sağlanabileceği tespit edilmiştir (Öztürk vd., 2005).

HÇYR sisteminde anaerobik ayrışma atıksu çamur yatağından yukarı çıkarken gerçekleşir ve biyogaz üretimi olur. Oluşan biyogaz reaktörün sıvı-katı-gaz ayırıcı birimine ulaştığında ortamdaki ayrılır. Bu esnada, yukarı ulaşan biyokütle de sıvı fazdan ayrılarak tekrar çamur yatağına döner ve çıkışta katı madde gözlenmez (Öztürk vd., 2005).

Reaktörün proses stabilitesi, çamur ökelmesinde yaşanan problemlerden veya granüler çamurun aktivitesinin düşmesinden kolayca etkilenmektedir. Çamurun ökelmesinde yaşanan problemler çamur yatağının homojenliğini bozar ve çamurun aşırı kabararak kaçmasına neden olur. Atıksu içerisindeki inorganik yapının artması ise granüler çamurun aktivitesinin düşmesine neden olabilmektedir (Öztürk vd., 2005).

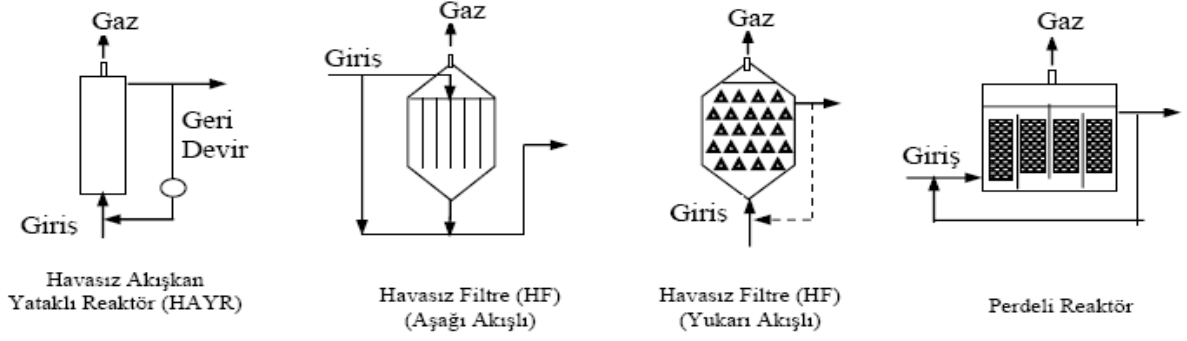
Ayrıca, giriş suyunda askıda katı madde ve yağ muhtevasının artması tıkanma, çamur yatağında kanallanma ve köpük oluşumu gibi işletme problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Öztürk vd., 2005).

Biyofilm Sistemler

Biyofilm sistemlerinin başlıca uygulamaları (Öztürk vd., 2005).

- Havasız Akışkan Yataklı Reaktörler
- Havasız Filtreler
- Havasız Döner Diskler
- Perdeli Reaktörler'dir.

Bu sistemlere ait reaktör tipleri şekil 2.7'de verilmektedir (Öztürk vd., 2005).



Şekil 2.7 Biyofilm sistemlerinin reaktör tipleri (Öztürk vd., 2005)

Havasız akışkan yataklı reaktörlerde (HAYR) biyokütle; akışkan haldeki, 0,1-0,6 mm çaplı kum, antrasit, aktif karbon gibi ince tanecikli yatak malzemesi üzerinde tutunur. Akışkan haldeki yatak malzemesinin üzerinde 30 000 mg/l gibi yüksek konsantrasyonlarda biyokütle tutulabilmektedir. HÇYR'ler 40-60 kg KOİ/m³-gün gibi yüksek organik yükler uygulanabilen ve hidrolik bekletme süresi 1,5-3 saate kadar indirilebilen sistemlerdir. Bunların en büyük mahzuru, yatağın akışkan tutulabilmesi için gerekli olan geri devirdeki terfi maliyetidir (Öztürk vd., 2005).

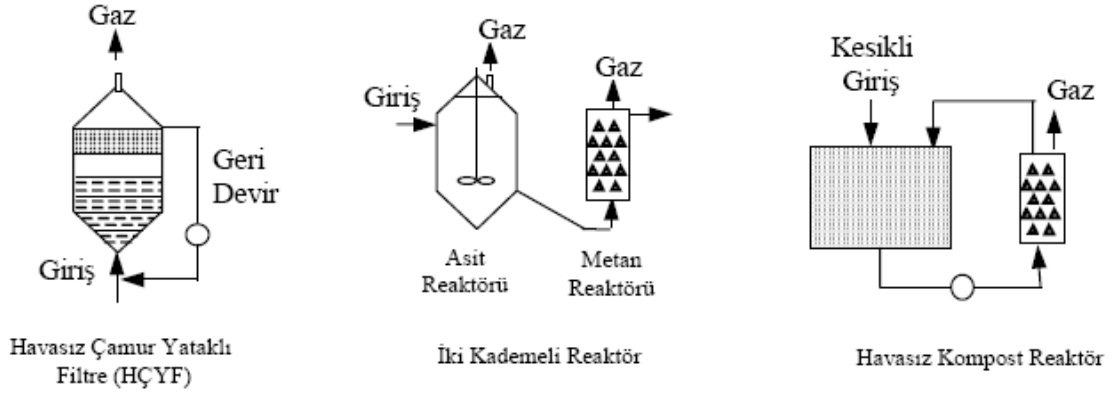
Havasız filtreler; içerisinde kırma taş veya plastik dolgu malzemesi bulunan reaktörlerdir. Yukarı veya aşağı akışlı olarak işletilebilirler. Dolgu malzemesi bakterilerin tutunması için yüzeyi artırır. Bununla birlikte, yapılan çalışmalar sonucunda, filtre içerisindeki mevcut biyokütlenin takriben % 60'ının filtre malzemesinin boşluklarında olduğu ve arıtmanın büyük bir kısmının burada gerçekleştiği tespit edilmiştir. 100 000 mg/l konsantrasyonlarında biyokütle filtre içinde tutulabilmektedir. Çeşitli inhibitörler karşısında biyokütle kaybı sınırlı olup, sistemin yeni durumlara uyum sağlaması daha rahat olabilmektedir. Buna karşılık olarak, biyofilm teşekkülünün zaman alması, yüksek oranda askıda katı madde ihtiva eden atıksularda tıkanma, kanallanma ve kısa devre ihtimalleri oluşu ve özellikle dolgu malzemesinin pahalı olması bu reaktörlerin önemli mahzurlarındandır (Öztürk vd., 2005).

Diğer Sistemler

Farklı olarak uygulanan diğer reaktör tiplerinin başlıcaları aşağıda sıralanmıştır (Öztürk vd., 2005).

- Hibrit Filtreler
- İki Kademeli Reaktörler
- Havasız Kompost Reaktörleri'dir.

Bu uygulama tipleri Şekil 2.8'de verilmektedir.



Şekil 2.8 Uygulanan diğer reaktör tipleri (Öztürk vd., 2005).

Hibrit filtreler; alt kısım havasız çamur yatağı, üst kısım ise havasız filtre olarak teşkil edilir. Filtre kısmındaki dolgu malzemesi yüksekliği 2 m'den az olmayacak şekilde filtre kısmı toplam hacmin %50-70'ini kapsamalıdır. Bu reaktörlerde biyolojik arıtmanın büyük kısmı çamur yatağında gerçekleşir. Üst kısımdaki filtre yapısı sıvı ve katı fazlarının ayrımını sağlar ve biyokütle kaçışını engeller. Ancak son uygulamalarda dolgu malzemesi içinden geçen biyogazdan dolayı çökelmede istenilen etkinliğin sağlanamadığı saptanmıştır. Bu nedenle, dolgulu kısmın reaktör dışında ayrıca teşkilinin daha faydalı olacağı belirtilmiştir. Havasız çamur yataklı filtrenin 5-10 kgKOİ/m³-gün'lük organik yüklerde başarıyla çalışan birçok kurulu örneği bulunmaktadır (Öztürk vd., 2005).

İki kademeli reaktörlerde, asit ve metan üretimi ayrı reaktörlerde gerçekleştirilir. Faz ayrımının uygulanmasıyla havasız arıtmada organik yükün %50'ye yakın oranda arttırılması mümkündür (Öztürk vd., 2005).

Böyle bir uygulama ile toplam hacimde %30-40 oranında bir küçülme sağlanabilmektedir. Tam karışımli bir havasız tank veya derin havasız lagün asit reaktörü olarak kullanılabilir (Öztürk vd., 2005).

Havasız reaktörlerin, tek veya iki kademeli işletmelerine göre genel karşılaştırılması Çizelge 2.12'de verilmektedir (Öztürk vd., 2005).

Çizelge 2.12 Tek ve iki kademeli işletmenin mukayesesi (Öztürk, 1999)

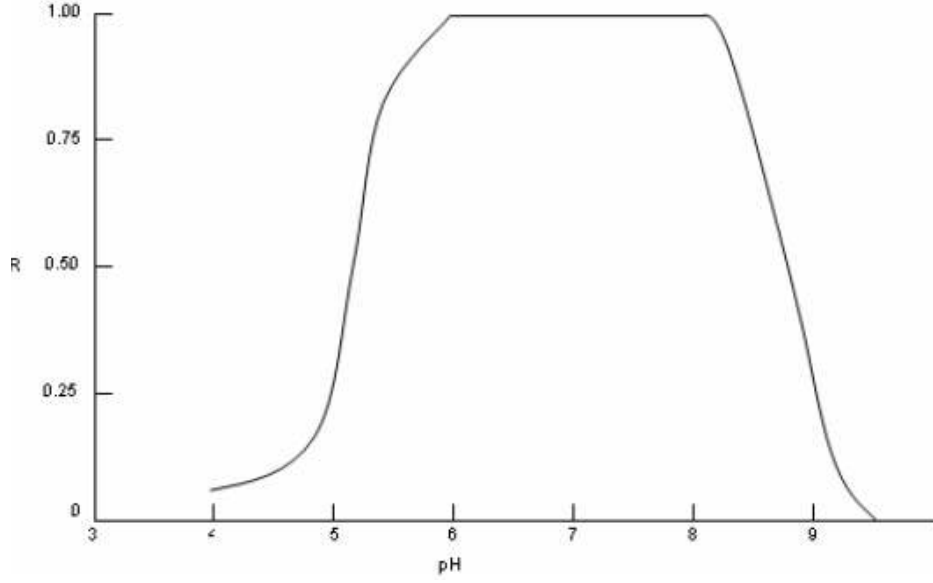
	Tek Kademeli	İki Kademeli
Üstünlükleri	Daha az yatırım maliyeti İşletme ve kontrol kolaylığı	Daha hızlı işletmeye alma Prosesin daha karalı olması Arıtma veriminin daha yüksek olması Katı organik maddelerin ayrışması
Kısıtları	Daha uzun sürede işletmeye alma Daha karasız proses Organik yük değişimlerine daha hassas oluşu	Daha yüksek yatırım maliyeti Kontrolün daha zor oluşu Dikkatli pH kontrolü gereksinimi

2.4.3 Anaerobik sistemde arıtmayı etkileyen faktörler

pH ve Alkalinite

Anaerobik arıtma sistemlerinde pH'ın değişimi birçok faktörün toksik etkilerini arttırıp azaltmasından ötürü önemlidir. Özellikle serbest amonyağın toksik etkisi yüksek pH'larda daha tehlikeli olmaktadır. Bunun yanında sülfatlı atıksuların arıtımı sonrası ortaya çıkan sülfürün büyük çoğunluğu düşük pH'larda H₂S şeklinde olmaktadır (Speece, 1996).

Anaerobik arıtmada pH değişimlerine en hassas grup metan bakterileridir. Metan bakterileri için optimum pH aralığı 6,5 – 8,5'dur. Genellikle sistem performansı pH düştüğünde düşer ve daha sonra durur. Eğer pH 8'in üzerine çıktığında aktivitede bir yavaşlama oluyorsa bunun nedeni serbest NH₃ konsantrasyonudur. Anaerobik arıtmada metan bakterilerinin aktivitelerinin pH' a bağlı olarak değişimi Şekil 2.9'da verilmiştir (Speece, 1996).

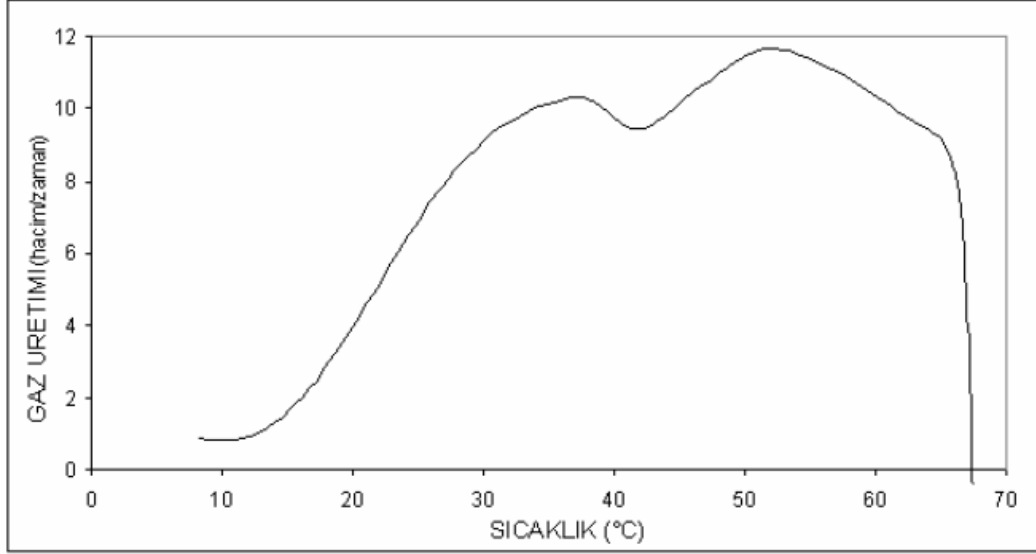


Şekil 2.9 Metanojenlerin aktivitelerinin pH'a bağlı değişimi (Speece, 1996)

Anaerobik arıtma sonunda üretilen biyogazdaki CO_2 muhtevası fazla olduğunda pH'ı nötr seviyesinde tutmak için gereken alkalinite miktarı 2.000 – 4.000 mg/l civarındadır. Atıksularda nadiren yeterli miktarda alkalinite olur. Bu yüzden atıksuya ilave alkalinite vermek gerekir ki bu da ilave bir masraftır (Speece, 1996).

Sıcaklık

Havasız arıtma sıcaklık değerine göre iki kademe olarak ayrılabilir. İlki mezofilik kademedir ve 25-40 °C aralığındadır. İkincisi ise termofilik kademedir ve 50-60 °C aralığındadır. Metan üretimi sıcaklık arttıkça artarken sıcaklık 35 °C'e geldiğinde pik bir değer alır. Ardından sıcaklık arttırıldığında metan üretimi tekrar artar ve 55 °C'e geldiğinde ikinci bir pik değere ulaşır. Bu yüzden mezofilik reaktörler 35 °C'de, termofilik reaktörler ise 55 °C'de çalıştırılır (Öztürk, 1999). Yavaş olan sıcaklık değişimlerine mikroorganizmalar adapte olurlar, ancak ani sıcaklık değişimleri mikroorganizmalar üzerinde inhibisyon etkisi yapar. Bu yüzden anaerobik proseslerin ± 2 °C aralığında çalıştırılması gerekir. Anaerobik arıtmada metan üretiminin sıcaklıkla değişimi Şekil 2.10' da verilmiştir (Speece, 1996).



Şekil 2.10 Biyogaz üretiminde sıcaklığın etkisi (Öztürk, 1999)

Uçucu Asitler

Anaerobik arıtma sistemlerinde uçucu asit konsantrasyonunun artması önemli bir problemdir.

Uçucu asit konsantrasyonlarının artmasının birkaç nedeni olabilir. Bunlar;

- İz element, N ve P yetersizliği,
- Organik yüklemenin metan bakterileri tarafından karşılanamaması,
- Giriş suyu pH'ı ve alkalinitesinin düşüklüğüdür.

Daha önce de ifade edildiği gibi anaerobik arıtmada ilk safha, organik maddelerin basit organik madde ve asitlere dönüşmesidir. Ardından bu organik madde ve asitlerde asetik asit, CO_2 ve H_2 'e dönüşür. Akabinde asetik asidin parçalanması sonucu CH_4 ve CO_2 , CO_2 ve H_2 'nin sentezi sonucunda CH_4 üretilmiş olur. Sistem dengede iken basit organik maddelerin büyük çoğunluğu direkt olarak asetik asit, CO_2 ve H_2 'e dönüşür. Ancak özellikle metan bakterilerinin çalışmasında bir aksama olduğunda basit organik maddeler asetik asit yerine propiyanat ve bütirat gibi daha kompleks uçucu asitlere dönüşür. Oluşan propiyanat ve bütiratın metan bakterileri tarafından metana dönüşüm oranı düşüktür. Bu yüzden arıtma çıkışında suda metana dönüşemeyen asitler bulunur (Speece, 1996).

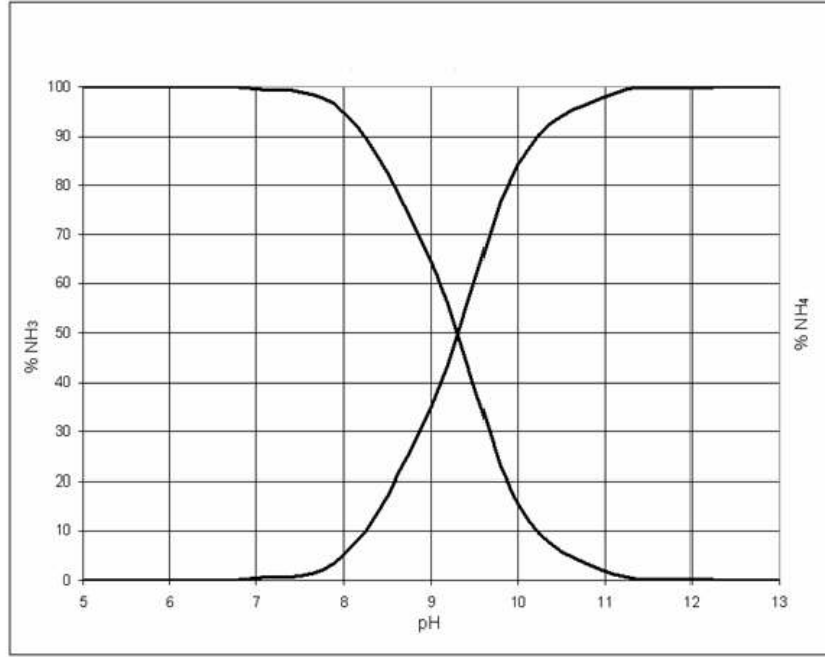
Ayrıca, organik yükleme fazla olduğunda bakteriler asetik asidi de yeteri kadar parçalayamazlar. Dolayısıyla çıkış suyunda uçucu yağ asidi miktarı artar. Uçucu yağ asidi konsantrasyonunun artması pH'ın azalmasına sebep olur. Bu da metan bakterilerinin çalışmasını olumsuz yönde etkiler. Hatta pH düşüşü devam ederse metanojenik faaliyet tamamen durur. Bu yüzden anaerobik arıtma sistemlerinde uçucu yağ asidi konsantrasyonu, sürekli izlenmesi gereken çok önemli bir parametredir (Speece, 1996).

Uçucu yağ asidi konsantrasyonu arttığında pH'ın düşüşünü tamponlamak için alkalinitenin artırılması ve yağ asidi konsantrasyonundaki bu artışın nedenlerinin araştırılması gereklidir. Bu da kafi gelmediğinde organik yük azaltılır hatta gerektiğinde durdurulur. Yapılan araştırmalar uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının 1000 - 1500 mg/l'yi aştığında önemli problemlerin başladığını göstermektedir (Öztürk, 1999).

Uçucu yağ asidi konsantrasyonları genelde düşük alkalinite değerlerinde daha tehlikelidir. Bu yüzden uçucu yağ asidi konsantrasyonları incelenirken, alkalinite değerleri de dikkate alınır ve uçucu yağ asidi/alkalinite oranına göre de yorum yapılır. Uçucu yağ asidi/alkalinite oranının anaerobik arıtmada 0,1' in altında olması istenirken 0,3' e kadar sistem verimli çalışabilmektedir. Bu oran 0,3'den daha yüksek olursa sebeplerinin araştırılması ve problemin çözülmesi gereklidir (Speece, 1996).

Amonyak

Amonyak, anaerobik arıtmada özellikle metan bakterileri üzerinde toksik etki yapar. Amonyak zayıf bir asittir ve sularda genelde amonyum iyonu (NH_4^+) şeklinde bulunur. Serbest amonyak ($\text{NH}_3\text{-N}$) ile amonyum azotu arasındaki oran pH'a bağlı olarak değişir. pH arttıkça serbest amonyağın ($\text{NH}_3\text{-N}$) oranı artar. Metan bakterileri için asıl toksik etkiyi serbest amonyak ($\text{NH}_3\text{-N}$) gerçekleştirir. Bu yüzden amonyağın inhibisyonu özellikle yüksek pH'larda daha tehlikelidir. Yaklaşık olarak 100 mg/l konsantrasyondaki serbest amonyak ($\text{NH}_3\text{-N}$) konsantrasyonu toksik etki göstermekle birlikte, eğer bu değere sistem alıştırlarak ulaşırsa toksik etki görülmeyebilir. Sularda amonyak ve amonyumun pH'a göre değişimi Şekil 2.11' de gösterilmiştir (Speece, 1996).



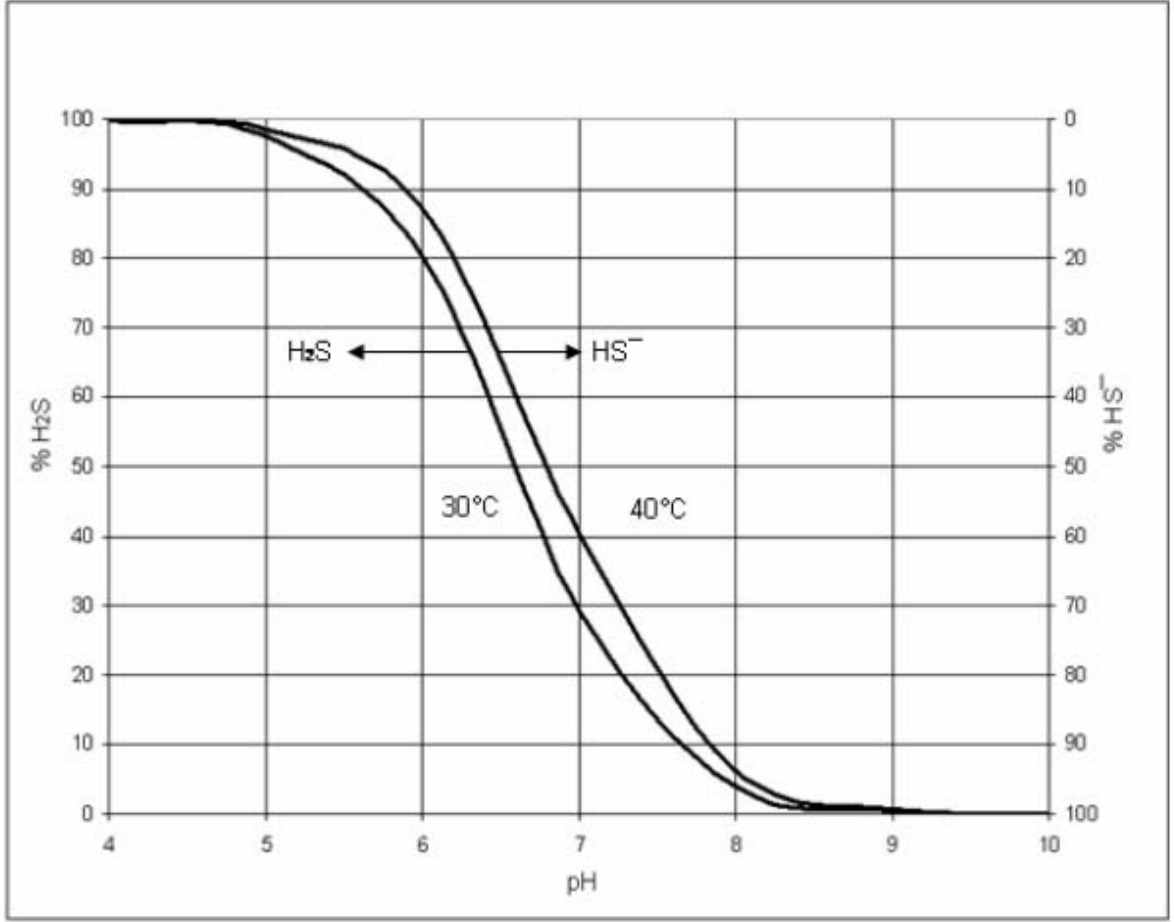
Şekil 2.11 pH değişimine bağlı olarak amonyak ve amonyumun dönüşümü (Speece, 1996)

Sülfür Üretimi

Sülfat ve sülfid gibi oksitleyiciler, sanayi atıksularında bol miktarda bulunurken, daha az ölçüde evsel atıksularda da bulunurlar. Sülfat, sülfid ve tiyosiyanatın atıksudaki varlığı anaerobik arıtma için oldukça önemlidir. Sülfat içeren bir atıksu anaerobik olarak arıtılırken sülfat gideren bakteriler besin maddesi olarak asetik asit ve H_2 'i kullanarak metan bakterileri ile rekabet ederler. Sülfür üretimi metan üretimine göre nispeten daha kolay olduğundan sülfür üreten bakteriler metan üreten bakterilere göre daha hızlı çalışır ve reaktörde metan üretimi düşer. Ayrıca, üretilen H_2S metan bakterileri için toksik bir maddedir. H_2S konsantrasyonunun 200 mg/l'yi aştığı durumlarda metan üretiminin tamamen durduğu bilinmektedir. Ayrıca oluşan H_2S gaz formunda iken oldukça korozif bir maddedir ve reaktör ile borularda korozyona sebep olur. Bunlara ilaveten sülfat içeren atıksuların arıtımı sonrası ortaya çıkan H_2S atmosferi kirleten gazlardan biridir. Sularda H_2S ve HS^- in değişimi pH'a bağlıdır ve bu değişim Şekil 2.12' de gösterilmiştir (Speece, 1996).

Sülfat bakterileri iki grup olarak incelenebilir. İlk grup elektron kaynağı olarak organik maddeleri kullanıp onları asetata çevirirken, sülfatı sülfüre çevirirler. Bu grubun anaerobik arıtmada en sık rastlanılanı Desulfovibrio bakterisidir (Speece, 1996).

İkinci grup sülfat azaltıcı bakteriler yağ asitlerini (özellikle asetat) okside ederken, sülfatı sülfüre çevirirler. Bu grubun en sık rastlanılan üyesi *Desulfobacter*' dir (Speece, 1996).



Şekil 2.12 H₂S ve HS⁻'in pH'a göre değişimi (Speece, 1996)

Nütrientler

Anaerobik arıtmada çamur üretimi daha az olduğundan nütrient ihtiyacı da daha az olacaktır. Buna karşın anaerobik arıtma için gerekli nütrientlerin atıksuda yeteri kadar olmadığı durumlarla sıkça karşılaşılır. Bu gibi durumlarda atıksuya N, P gibi nütrientlerin takviyesi gerekir. Anaerobik arıtma için en ideal KOİ/N/P oranı, işletmeye alma döneminde 300/5/1-500/5/1 aralığında, sistem kararlı hale geldikten sonra ise 700/5/1' e kadar yükseltilebilmektedir. Eğer bu değerler atıksuda mevcut değilse üre, H₃PO₄ veya amonyum dibazik fosfat ilavesiyle bu değerler sağlanabilir (Öztürk, 1999).

Anaerobik arıtmada iz elementlerin belli bir miktarda varlığı metan bakterilerinin çalışması açısından faydalıdır. Ancak, bu miktarlar yüksek olduğunda bakteriler için inhibe edici olabilirler. Bazı iz elementlerin anaerobik arıtmada istenen konsantrasyonları Çizelge 2.13’de verilmiştir.

Çizelge 2.13 Anaerobik arıtmada bazı iz elementlerin istenen konsantrasyonları
(Öztürk,1999)

İz Elementler	Reaktördeki Konsantrasyonları (mg/l)
S	4
Ca	3
Mg	3
Fe	0,5
Ni	< 0,01
K	555
Zn	0,05

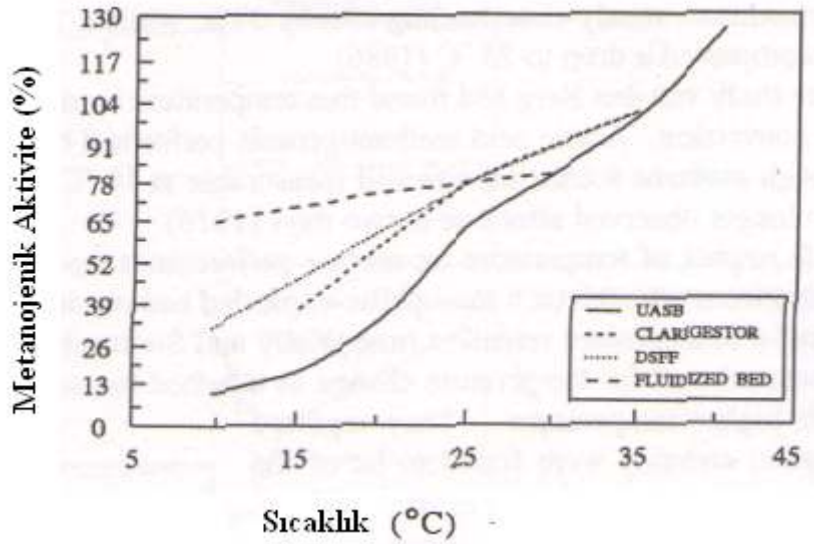
Gaz Üretimi ve Metan Muhtevası

Anaerobik arıtmada reaktör verimini kontrol etmenin en kolay yöntemlerinden biri oluşan biyogaz miktarı ve bu biyogaz içerisindeki metan muhtevasını takip etmektir. Bilindiği üzere anaerobik arıtmanın aerobik arıtmaya olan temel üstünlüklerinden biri proses sonucu ortaya çıkan metandır. Prosesin çalışması ne kadar iyi olursa o oranda biyogaz üretilmiş olur. Üretilen biyogazın miktarı sistemde giderilen organik yüklerle paraleldir. Sonuç olarak biyogaz miktarının düşmesi sistemin organik kirlilikleri giderme veriminin düştüğünün gösterir. Bunun temel sebeplerinden biri aşırı organik yüklemidir. Bunun dışındaki sebepler metan bakterilerinin çalışmasını olumsuz yönde etkileyen ve önceki bölümlerde anlatılan unsurlardır (Speece, 1996).

Anaerobik arıtmada biyogazın yüksek miktarlarda olması istendiği gibi, biyogaz içerisindeki metan muhtevasının da fazla olması istenir. Eğer biyogaz içerisindeki metan yüzdesi düşerse bunun temel sebeplerinden biri metan bakterilerinin çalışmasına etki eden bir unsurdur. Biyogaz içerisindeki metan muhtevası genelde %70’in üzerindedir. Bu değerin altına inildiğinde bunun sebebinin araştırılması gerekir (Speece, 1996).

Normal şartlarda (0 °C ve 1 atm), glikoz ($C_6H_{12}O_6$) için giderilen beher gr KOİ başına üretilmesi gereken metan miktarı 0,35 L'dir (Metcalf ve Eddy, 2003).

Şekil 2.13'te ise farklı anaerobik reaktör tiplerinin metanojenik aktivitelerinin sıcaklıkla değişimi verilmiştir.



Şekil 2.13 Farklı reaktörlerde sıcaklığın metanojenik aktiviteye etkisi (Speece, 1996)

2.4.4 Anaerobik sistemlerin izlenmesi ve kontrolü

Havasız bir sitemde beklenen verimin elde edilebilmesi için sistem parametreleri dikkatlice izlenmeli ve gerekli tedbirler zamanında alınmalıdır. Etkin bir işletme ve izleme sonucu yüksek verimli bir arıtma sağlandığı gibi, metan dönüşüm oranının maksimum kılınması ve olabildiğince az arıtma çamuru elde edilmesi mümkün olmaktadır (Öztürk, 2007).

Proses kontrolünde amaç, sistemde meydana gelen düzensizliklerin mümkün olan en kısa sürede tespitidir. Havasız arıtmada proses kontrolü bakımından izlenmesi gereken parametre ve izleme sıklıkları Çizelge 2.14'te verilmiştir (Öztürk, 2007).

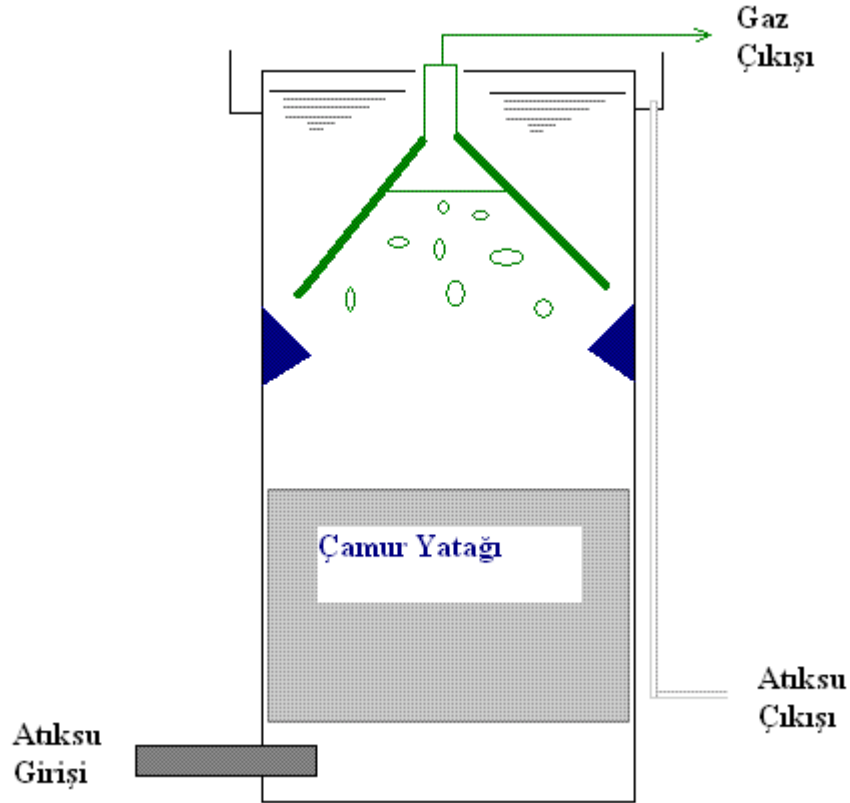
Havasız arıtmada proses dengesizliği söz konusu olduğu zaman toplam uçucu asit ve CO_2 yüzdesinde ani artış, pH, alkalinite, gaz debisi ve CH_4 yüzdesinde ani azalma görülür. Bu tür dengesizlikler oluştuğunda organik yük azaltılarak ve gerekiyorsa NaOH, kireç, $NaHCO_3$ gibi kimyasal maddeler kullanılarak pH istenilen değere ayarlandıktan sonra dengesizliğin sebebi belirlenmelidir. Kısa süreli bir dengesizlik söz konusu ise optimum çevre şartları sağlanmak suretiyle süratle önceki şartlara ulaşılır. (Ubay, 1993)

Çizelge 2.14 Proses kontrolünde izlenmesi gereken parametreler (Öztürk,2007)

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

3. YUKARI AKIŞLI ANAEROBİK ÇAMUR YATAKLI REAKTÖR

Yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler (HÇYR) anaerobik arıtma tipleri içinde en sık kullanım alanı olan sistemlerden biridir. 1970'li yılların sonunda Hollanda'da Lettinga ve yardımcıları tarafından geliştirilmiştir(Debik vd., 2008). HÇYR'ün şematik görünüşü Şekil 3.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 HÇYR görünüşü (Wastewater Engineering, 2007)

Bu sistemin geliştirilmesinde etkili olan temel düşünceler,

- Anaerobik çamurların uygun fiziko-kimyasal çevre şartlarında çökelme karakteristikleri çok iyi floklar oluşturması,
- İyi çökelen floklardan oluşan çamur yatağının kendine has özellikleri dolayısı ile bir akışkan yatak davranışı göstermesi, aynı zamanda türbülans ve kayma tesirlerine karşı mukavemetinin yüksek oluşu ve bu yüzden sistemde kolaylıkla tutulması,
- Özellikle yüksek gaz üretimi ve yukarı akış hızı dolayısıyla çamur örtüsünü terk ederek sistemden ayrılabilen çamurların reaktör üst kısmındaki çökelme bölgesinde çökeliş reaktöre döndürülmesi olarak sıralanabilir (Öztürk, 2007).

HÇYR'lerde atıksu girişi reaktörün alt kısmındandır ve atıksu akımı yukarı doğrudur. Üst kısımda çıkış suyuyla birlikte katıların çıkmasını önlemek için perdeler kullanılır.

HÇYR'lerde e bazen çıkış suyu bir çökeltme havuzuna alınır ve çöken çamur reaktöre geri devrettirilir. Ayrıca, bazen reaktörün üst kısmına filtre malzemesi konularak hibrit sistem olarak kullanılmaktadır. Bu iki modifikasyonun da amacı sistemden katıların kaçışını önlemektir (Metcalf ve Eddy, 2003).

HÇYR'lerin en önemli özelliği diğer anaerobik arıtma proseslerine kıyasla çok yüksek hacimsel organik yüke cevap verebilmesidir. Bunun temel nedeni HÇYR'lerin dip kısmındaki granüler çamurun 50-100 g/L, üst kısımdaki fazın ise 5-40 g/L olan katı madde konsantrasyonudur. Granüler çamur partiküllerin çapları 1 ile 3 mm arasında değişmektedir (Metcalf ve Eddy, 2003). Granüller, sistemin başlangıçtaki alıştırmaya periyodunda geliştirilir veya benzer bir tesisten işletmeye alma döneminde temin edilir.

3.1 İşletmeye Alma Devresindeki Önemli Hususlar

Havasız sistemlerin yaygın tatbikatını yavaşlatan en önemli kısıtlar bu sistemlerin havalı sistemlere göre işletmeye alma devrelerinin uzunluğu ve proses kontrolünün daha hassas oluşudur (Öztürk, 2007).

İşletmeye alma devresinin uzun sürmesi anaerobik arıtma prosesinin en belirgin özelliğidir. İşletmeye alma devresi süresini belirleyen başlıca faktörler aşağıda özetlenmiştir (Öztürk, 2007).

- Hedeflenen organik yük ve/veya biyokütke konsantrasyonu
- Aşı çamurunun reaktörde kalan kısmının oranı
- Biyokütle birikme verimi
- Giren atığın biyokütleyle dönüşüm verimi (Y)

Anaerobik sistemlerin işletmeye alınma devresinde karşılaşılan esas problem arıtılacak atığa uygun mikroorganizma topluluğunun bulunmasıdır. Uygun nitelikte bir mikroorganizma topluluğu (aşı çamuru) olması halinde çok kısalmıştır.(Öztürk,2007);

HÇYR'lerde granül geliştirilmesinde pek çok faktör rol oynamaktadır. Örneğin evsel atıksular için uygulanan bir HÇYR'de granül geliştirilmesi için dikkat edilecek temel hususlar şu şekilde sıralanabilir (Öztürk, 2007).

- Aşı çamuru konsantrasyonu için UAKM cinsinden $10-15 \text{ kg/m}^3$ aralığında bir değer seçilmelidir,
- Başlangıçta uygulanan organik yük, $0,05-0,10 \text{ kg KOİ/kg UAKM-gün}$ aralığında bir değer olmalıdır,
- KOİ giderme verimi %80'i aşmadıkça organik yük arttırılmamalıdır. Mikroorganizmaların organik yüke adapte olduklarını gösterecek şekilde KOİ giderme verimi % 80 seviyesini aştığında organik yük kademeli olarak arttırılmalıdır,
- Çökelme özelliği düşük çamurlar yıkanmalıdır,
- Eğer geri devir yapılırsa sistemden kaçmış olan hafif çamurların sisteme geri dönüşüne izin verilmemelidir,
- Çamurun ağır kısmının sistemde kalması sağlanmalıdır,
- Aşı çamurunun UKM konsantrasyonunun çok düşük olması halinde, granülleşmeyi teşvik etmek için reaktöre inorganik çekirdek malzemesi ilave edilmelidir.

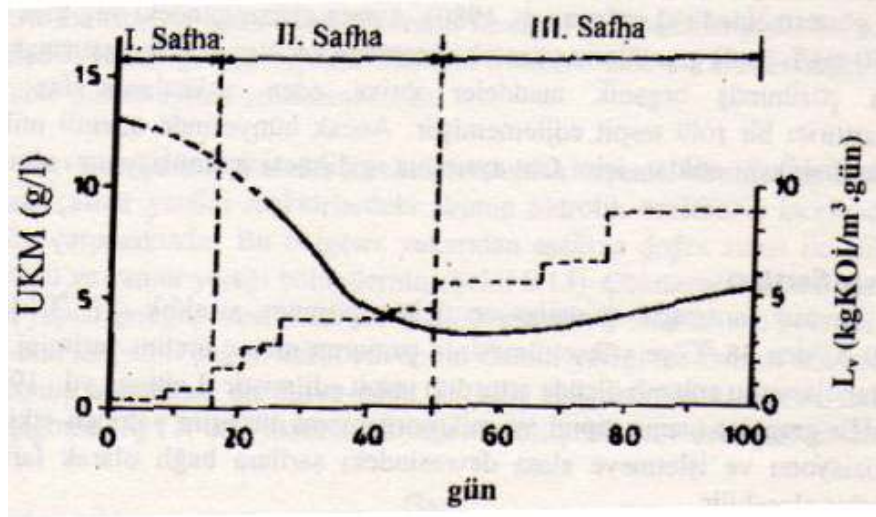
Nispeten kolay ve hızlı bir işletmeye alma işleminin sağlanabilmesi için metan verimi düşük ($\sim 0,05 \text{ kg UAKM/m}^3$) çürütülmüş evsel atıksu çamurları aşı olarak kullanılabilir. Reaktöre ilave edilmesi gereken evsel atıksu çamurları aşı olarak kullanılabilir. Reaktöre ilave edilmesi gereken aşı çamuru miktarı 10 kg UAKM/m^3 'ten az olmamalı ve reaktör hacminin asgari %15-20'sine eşit olmalıdır. Evsel çamurlar dışında, çürütülmüş çiftlik gübresi ve fosseptik muhtevası da aşı olarak kullanılabilir. Böyle hallerde alıştırma evresi 2-3 ay sürebilir. İşletmeye alma devresinin 3 safhası aşağıda açıklanmıştır (Öztürk, 2007).

Birinci safha, hacimsel yükün 2 kg KOİ/m^3 günü geçmediği başlangıç dönemidir. Bu safhada aşı çamurlarındaki çok hafif ve ince partiküler sistemden uzaklaşır, çamur yatağı suyun yukarı akışı ve tedricen artan gaz üretimine paralel olarak gelişir (Öztürk, 2007).

İkinci safha, hacimsel yükün 5 kg KOİ/m^3 güne kadar arttırıldığı safhadır. Bu devrede çamur yatağının ileri derecede genişmesi sebebiyle belirgin bir çamur kaybı gözlenir ve floküler yapıda aşı çamurunun çoğu sistemden uzaklaştırılır. İlk beslemenin yapıldığı andan itibaren takriben 40 gün sonra reaktörde kalan çamurda belirgin bir granüller yapı gözlenebilir. Başlangıçta konan aşı çamurunun büyük kısmı sistemden atıldığı halde, kalan çamurun metan veriminin hızlı artışı dolayısıyla sistem, uygulanan organik yüke dayanabilir. Bu safhanın sonunda çamur yıkanması azalır ve sistemde granüler yapıdaki çamur birikmeye başlar (Öztürk, 2007).

Üçüncü safha, hacimsel yükün 5 kg KOİ/m^3 günü aştığı devredir. Bu safhada sistemden atılan çamur miktarı, yeni oluşan granüler çamur miktarından daha azdır. Reaktörün büyük bir kısmının granüler çamurla dolu olması halinde hacimsel yükün $50 \text{ kg KOİ/m}^3\text{gün}$ gibi çok yüksek değerlere kadar arttırılması mümkündür.

Granülasyon sürecinde gözlenen bu üç safhada, organik yük ve UKM konsantrasyonunun zamanla değişimi şekilde verilmiştir (Öztürk, 2007). HÇYR'lerin granülasyon sürecinde UKM konsantrasyonu ve hacimsel organik yük ile ilişki Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2 Granülasyon sürecinde HÇYR'de çamur konsantrasyonu değişimi (Öztürk, 2007)

Gaz debisi arttıkça organik yükünde kademeli olarak arttırılması gerekmektedir. Şartlar uygun olduğu takdirde organik yükleme her hafta %50 arttırılabilir (Öztürk, 2007).

Yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörde granüler aşı kullanılmaması halinde 1-2 kg KOİ/m³ gün'lük organik yükle sistem alıştırmaya başlanabilir. Reaktördeki TUA konsantrasyonu 1500 mg/l'yi geçmemek üzere organik yük kademeli olarak 20-30 gün sonra 5 kg KOİ/m³ güne çıkartılabilir. Yüksek biyolojik aktivitesi olan ağır granüler çamur elde edilebilmesi için organik yükün 5 kg KOİ/m³ günden fazla olması gerekmektedir. Normal şartlarda, atığın türüne de bağlı olmakla birlikte 40 gün (azami 2 ay) sonunda bu yüke ulaşılabilir. (Öztürk, 2007)

Üniform sürekli besleme yerine kesintili besleme ile şok organik yükleme uygulanması, uçucu asit değerinin nispeten yüksek (1000 mg/l) tutulması, 300 mg/l'yi geçmemek üzere Ca^{+2} ve 200 mg/l'yi geçmemek üzere K^{+2} iyonları granülasyonu hızlandırmaktadır (Hulshoff vd., 1983).

3.2 Evsel Atıksuların HÇYR ile Arıtımı Konusundaki Çalışmalar

Behling vd., (1996)

55 litre hacme sahip bir yukarı akışlı çamur yataklı reaktörle ısıtma ilavesi olmaksızın evsel atıksu arıtmışlardır. Deneysel çalışma 200 gün sürmüştür bunun 90 günü işletmeye alış evresidir. Hidrolik bekleme süresi 7,6 saat ve organik yükleme hızı $1,21 \text{ kg KOİ/m}^3\text{gün}$ olarak sabit tutulmuştur. Reaktörün %10 kadar aşırı çamuruyla doldurulmuştur. Başlangıçta yüksek olan UYA/Alkalinite oranı alkalinite ilavesiyle kritik değerin altına düşürülmüştür. Böylece stabil olan prosesin KOİ giderme verimi %85 olup, spesifik gaz miktarı $0,34 \text{ m}^3\text{metan/kg KOİ}$ bulunmuştur.

Singh ve Viraraghavan, (1998)

Toplam hacimleri 8 litre olan özdeş 2 adet UASB ile evsel atıksuların arıtılabilirliğini araştırmışlardır. 20°C sıcaklıkta farklı hidrolik bekleme sürelerin ve organik yükleme hızlarının yukarı akışlı reaktörlerde işletmeye alma ve kararlı hal üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 280 günlük deneysel çalışmanın 60 günü işletmeye alma evresidir. Kararlı hale geçen sistemde her bir HBS için KOİ ve AKM giderme verimi sırasıyla %82 ve % 86 dır. Çıkış suyundaki UYA konsantrasyonu 25mg/l den düşüktür (asetik asit olarak). Kütle hesaplamalarında her bir HBS için KOİ' nin %25-30'unun sülfata indirgendiği bulunmuştur. Deneysel periyot boyunca reaktör içindeki çamurun çökelebileme özelliği iyileşmiş ve granül çapı 0.2 mm 'den 1.5 mm 'ye çıkmıştır.

Lettinga vd.,(2004)

96 m^3 hacimli yukarı akışlı reaktör kuvvetli karakterli evsel atıksuların arıtılabilirliğini araştırmak için 2,5 yıl boyunca değişik koşullarda çalışmışlardır. Reaktörün ilk basamağı 60 m^3 , ikinci basamağı 36 m^3 hacminde. İlk yıl boyunca iki basamaklı sistemin ilk basamağı $3.6\text{-}5 \text{ kg KOİ/m}^3\text{gün}$, ikinci basamağı $2.9\text{-}4.6 \text{ kg KOİ/m}^3\text{gün}$ organik yükleme hızlarıyla çalıştırılmıştır. İlk basamağın KOİ_{top} giderimi yazın % 51, kışın % 49 iken ikinci basamağın giderim verimleri stabil hale gelmemiştir. İkinci yıl boyunca reaktörün ilk kısmı tek basamaklı UASB gibi çalıştırılıp, $1.5\text{-}1.8 \text{ kg KOİ/m}^3\text{gün}$ besleme yapılmıştır.

KOİ giderimi yazın %62 bulunmuş, kışın sıcaklığın düşüşüne bağlı olarak % 51 bulunmuştur. Hidrolik bekleme süresi 24 saat iken en yüksek KOİ giderim verimi %87-93 olarak bulunmuştur. Tüm yıl boyunca tek basamaklı reaktörün TUKM/TKM oranı 0.58-0.65 arasında sıcaklığa bağlı olarak bulunmuştur.

Deneysel çalışmanın sonunda tek basamaklı UASB'nin, iki basamaklı UASB'ye göre daha uzun HBS ile işletilmesi gerektiği bulunmuştur.

Mahmoud ve ark.,(2004)

15 °C'de 6 saat HBS ile çalıştırılan bir UASB ve onu izleyen 35°C'de 21 saat HBS ile çalıştırılan; UASB çürütücü reaktörün oluşturduğu bir sistem oluşturmuşlardır. Araştırmacılar tek basamaklı UASB sistemi ile UASB çürütücü sistemin evsel atıksu arıtma verimlerini karşılaştırmışlardır. Tek basamaklı reaktör aşılardan işletmeye alınmıştır, devreye alınma süresi 35 gün ve deneysel çalışma 81 gündür. Daha sonra bu reaktör anaerobik çürütücüye modifiye edilmiştir. Anaerobik çürütücü işletmeye alınırken benzer bir çürütücünün çamuruyla aşılardan devreye alma süresi 33 gün, deneysel çalışma süresi de 85 gündür. Çürütücü sistemin tüm KOİ fraksiyonlarında yaklaşık %5 daha fazla verimle çalıştığı gözlenmiştir. Toplam KOİ gideriminde ise tek basamaklı sistem %44 başarı sağlarken, çürütücü sistem %66 başarı sağlamıştır. Reaktöre çamur geri devri ile katı giderimi ve metan çevirimi her iki sitemde de artmıştır (tek basamaklı sistemde %20, çürütücü sistemde %47).

Sunny Aiyuk,(2004)

Evsel atıksuların düşük maliyetli arıtımı için entegre edilmiş kimyasal fiziksel ve biyolojik arıtma konseptini araştırmıştır. Kimyasal madde ilavesiyle ön arıtma yaparak askıda katı ve fosfor giderimi, onu takip eden UASB reaktörüyle çözülebilir organik maddelerin atıksudan uzaklaştırılması hedeflenmiştir. Son olarak zeolit kolonuyla da NH₄ giderilmek istenmektedir. Zeolit kolunu UASB reaktöründen önce ve sonra konarak çalıştırılmıştır. UASB reaktöründen önce konduğunda %45 NH₄ giderilirken, UASB reaktöründen sonra konulduğunda %100 giderim sağlanmıştır. Entegre sistemin giderim değerleri; TKM %88, KOİ_{top} %90, NH₄ %99 ve fosfor %94'tür.

Tönük, (2004)

Evsel atıksuların arıtma verimini 10,35 litre aktif hacme sahip YAHÇR 1,5 yıl boyunca çalışmıştır. Çalışma boyunca hidrolik bekleme süresi 6-24 saat, hidrolik yük 1-4m³/m³gün ve organik yük 0,266-1 kg KOİ/m³gün olarak gerçekleşmiştir. Evsel atıksu kaynağı olarak İTÜ kampüsünde oluşan evsel atıksular kullanılmıştır. Deneysel periyot boyunca 7 kararlı hal gözlenmiştir ve bu kararlı hallerde KOİ giderimi %67-87 arasında olmuştur. Evsel atıksuların hiçbir kimyasal madde ilavesi yapılmaksızın YAHÇYR'lerde yaklaşık %70'lik verimlerle arıtılabileceği bulunmuştur.

Çıkış suyundaki AKM miktarı oldukça düşük olup 50 mg/l'yi aşmamıştır. Reaktördeki biyokütle kararlı halde 20 000 mg/l civarında dengelendiği ve ihmal edilebilecek miktarda çamur üretimi gözlenmiştir.

YAHÇYR çıkışındaki amonyak, toplam fosfor ve toplam koliform değerlerinin yüzeysel deşarj için uygun olmadığı ve Ca(OH)_2 ile 2 saat havalandırma ile amonyak ve fosforda önemli giderimler elde edilmiştir.

Alvarez vd.,(2005)

Yürüttükleri çalışmada değişik devreye alma prosedürleriyle toplam hacmi 34.9 m³, aktif hacmi 25.5 m³ olan 3 sistem incelemiştir. Reaktör A aşı çamuru olmaksızın devreye alınmış ve 120 gün HBS 10-11 saat ve sıcaklığı 13.5-15 °C olarak çalıştırılmıştır. TKM verimi %75-85, KOI_{top} verimi % 54-58 ve BOI_5 verimi % 63-73 olarak bulunmuştur.

10 m³ hacminde çürütme çamuru kullanılarak devreye alınan Reaktör B ise 75 gün boyunca HBS 11 saat ve sıcaklığı 14°C olarak işletilmiştir. TKM verimi % 58, KOI_{top} verimi % 41 ve BOI_5 verimi %54 olarak bulunmuştur. Hidrolik olarak adapte olmuş çamur, B reaktöründen alınarak Reaktör C'ye konulmuştur. Fakat KOI_{top} ve BOI_5 giderim verimi daha düşük bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda UASB reaktörlerin hem aşılı hem de aşısız başarılı bir şekilde devreye alınabileceği bulunmuştur.

Gömeç ve Eroğlu,(2006)

Evsel atıksu karakterindeki sentetik atıksuyla beslenen 2 adet YAÇYR ile çalışmışlardır. Etkili hacimleri 6,45 l olan reaktörlerden biri 35°C de çalıştırılırken diğer reaktör başlangıçta oda sıcaklığında çalıştırılmış ve daha sonra sıcaklık adım adım 10°C'ye düşürülmüştür. 12 saat hidrolik bekleme süresinde 35°C ve 10°C'de çalıştırılan reaktörlerin KOI giderme verimleri sırasıyla %82 ve %92 civarında bulunmuştur. Biyogaz üretimleri, $\geq 16^\circ\text{C}$ 'de her iki reaktörde hemen hemen aynı gözlenmiş, sıcaklık 10°C'e düşürüldükten sonra belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Psikrofilik reaktör verimi daha düşük ölçülse bile, düşük kirlilik yükündeki atıksuların havasız arıtımı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş, ilave ısıtma ihtiyacı göstermeyerek daha ekonomik arıtım sağladığı belirtilmiştir.

Tarek Sabry,(2007)

Bu çalışmada özdeş ve 3.75 l hacimli cam UASB reaktörleriyle flokülen ve granüler çamurların çok yüklere karşı dirençlerini karşılaştırmıştır.

Hidrolik bekleme süreleri 4-15 saat arasında değiştirilmiştir. Her iki reaktörde de HBS 6 saat iken maksimum KOİ giderme verimi bulunmuştur. Flokülen çamura sahip reaktörün KOİ giderme verimi %92 iken diğerinin %91'dir. Hidrolik bekleme süresi 4 saate düştüğünde her iki reaktörde de sadece %3-4'lük bir verim kaybı gözlenmiştir. Her iki reaktör de yüksek KOİ ve AKM'ye sahip atıksuyu başarılı bir şekilde arıtmıştır. En düşük hidrolik bekleme süresinde bile reaktörlerin yüksek tolerans özelliği sayesinde biyokütle kaybı olmamıştır. Hidrolik bekleme süresi 6 saat ve daha yukarı olduğunda yukarı akış hızı substrat ve biyokütle teması için yeterli olduğu, 4 saatten az olduğunda temasın yetersiz olup, biyokütle kaybı olduğu görülmüştür. Her iki çamur tipinin de kullanılması küçük yerleşim yerleri için önerilmiştir.

Al-Jamal ve Mahmoud,(2008)

2 özdeş UASB reaktörüyle değişik hidrolik bekletme sürelerinde evsel atıksu arıtmışlardır. Reaktör hacimleri 0.8 m^3 'tür. Reaktörler değişik çevre koşullarında devreye alınmışlardır ve 1 yıl boyunca çalıştırılmışlardır. Reaktörler ızgara ve kum tutucudan geçen atıksu ile beslenmiştir. R1 reaktörü 2 günlük HRT ile R2 reaktörü 4 günlük HRT ile işletilmiştir. KOI_{top} , BOI_5 ve TKM giderme verimleri R1 reaktörü için %51, %45 ve %74 iken R2 reaktörü için %54, %49 ve %78 olarak bulunmuştur. Analizler arasındaki en farklı giderim değeri çözünmüş KOİ için bulunmuş olup R1 reaktörü için %20, R2 reaktörü için %10 olarak bulunmuştur. Oluşan fazla çamurun 4-7 yıl arasında alınmamasının yeterli olacağı öngörülmüştür. UASB sisteminde 4 günlük HBS'nin arıtma verimi açısından önemli bir getirisi olmadığından, 2 günlük HBS'nin yeterli olacağı söylenmiştir.

Alvarez ve ark.,(2008)

İki basamaklı anaerobik arıtma sistemiyle değişik hidrolik bekleme süreleri ve sıcaklıklarla ($14-21 \text{ }^\circ\text{C}$) düşük karakterli evsel atıksu arıtmışlardır. Sistem asit üreten bir 25.5 m^3 hacminde bir HUSB ve onu izleyen 20.36 m^3 hacminde bir UASB'den oluşmaktadır. Reaktörlerin boyutlandırılmasında bazı farklılıklar olsa da sistem dizaynları aynıdır. HUSB 2.8-5.7 saat aralığında HBS ve $0.5-3.2 \text{ kg KOI/m}^3\text{gün}$ aralığında OYH ve UASB ise 6.5-13.9 saat aralığında HBS ve $0.2-0.7 \text{ kg KOI/m}^3\text{gün}$ aralığında OYH ile çalıştırılmıştır.

Bu çalışmanın sonunda sistem genelindeki TKM, ÇKOİ ve BOİ₅ verimleri sırasıyla % 76'dan % 89'a, % 49'dan % 65'a ve % 50'den % 77'ye yükselmiştir. Sistem performansının giriş suundaki KOİ konsantrasyonun 250 mg/l'den yüksek olduğunda arttığı gözlenmiştir.

Al-Shayah vd., (2008)

Kuvvetli karakterli evsel atıksu arıtmak için 2 paralel UASB'yi işletmeye almışlardır. 24 °C'de 6 ay süresince ile 2 farklı hidrolik bekleme süresi çalışmışlardır. Her iki reaktör özdeş olup hacmi 0,8 m³ tür ve paslanmaz çelikten yapılmıştır. R1 2 günlük hidrolik bekleme süresiyle çalıştırılırken, R2 reaktörü 4 günlük hidrolik bekleme süresiyle çalıştırılmıştır. KOİ_{top}, ÇKOİ, BOİ₅ ve AKM verimleri R1 reaktörü için sırasıyla %56, %87, %59, %81 iken, R2 reaktörü için sırasıyla %58, %90, %60 ve %82 dir. R2 reaktörünün R1 reaktörüne göre belirgin bir giderme verimi olmadığından 2 günlük hidrolik bekleme süresi yeterli görülmüştür. Uzun bekleme süresi arıtma veriminde belirgin bir artışa neden olmadığından 2 günlük HRT ile işletilmesi uygun görülmüştür.

Nidal Mahmoud,(2008)

Kuvvetli karakterli evsel atıksuların tek basamaklı UASB ve UASB çürütücü sistem tarafından arıtılabilirliğini araştırmıştır. Kum tutucu ve ızgaralardan geçen atıksu (fiziksel ön arıtmadan geçen atıksu) 10 saatlik HBS ile tek basamaklı UASB'ye verilmiştir. Tek basamaklı sistem aşısız işletmeye alınmıştır, devreye alma süresi 42 gündür. 389 günlük çalışma süresi sonunda tek basamaklı reaktör, UASB çürütücü tankına modifiye edilmiştir. Evsel atıksu arıtma tesisinin yoğunlaştırıcıyla aşılana çürütücünün sıcaklığı 35 °C'dir. Devreye alma süresi 57 gün, toplam deneysel çalışma 107 sürmüştür. Tek basamaklı UASB reaktörünün ılık 6 ay süresine toplan KOİ giderimi %54, soğuk 6 ay boyunca toplam KOİ giderimi %32 bulunmuştur. Modifiye sistemin toplam KOİ giderimi ise %72 olarak bulunmuştur.

4. ENZİMLER

Enzimler biyolojik aktivitelerin sürdürülmesini sağlayan kimyasal reaksiyonları $10^{10} - 10^{12}$ oranında hızlandıran, reaksiyonda tüketilmeyen ve reaksiyon sonunda kendisinde net olarak bir değişim olmaksızın rejenere edilen, dolayısıyla tekrar tekrar kullanılabilen biyolojik katalizörlerdir (Yıldız,2009)

Enzimlerle katalize edilen tepkimeye katılan kimyasal moleküllere substrat adı verilir (Altınışık, 2009).

4.1 Enzimlerin Yapısal Özellikleri

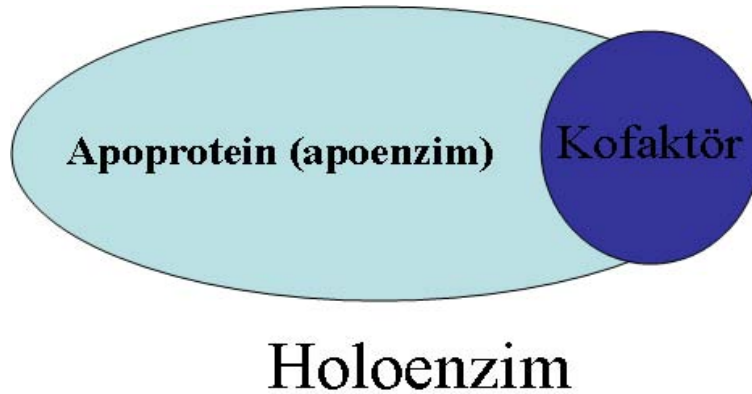
Katalitik RNA moleküllerinin küçük bir grubu hariç bütün enzimler proteindirler; proteinlere ait tüm yapısal özellikleri gösterirler (Altınışık, 2009).

Enzim proteinlerinin primer, sekonder, tersiyer ve kuarterner yapıları, katalitik aktiviteleri için esastır. Bir enzim denatüre edilirse veya alt ünitelerine ayrıştırılırsa katalitik aktivitesi genellikle kaybolur; bir enzim amino asit bileşenlerine yıkılırsa katalitik aktivitesi daima harap olur (Altınışık, 2009).

Bazı enzimler aktivite için, protein yapıyı oluşturan amino asit kalıntılarından başka kimyasal bileşen gerektirmezler. Bazı enzimler ise kofaktör diye adlandırılan bir ek kimyasal bileşen gerektirirler (Altınışık, 2009).

Kofaktörü ile birlikte tam, katalitik olarak aktif bir enzim, holoenzim olarak adlandırılır. Holoenzimin bir protein kısmı bir de kofaktör kısmı vardır (Altınışık, 2009).

Holoenzimin protein kısmı apoenzim veya apoprotein olarak adlandırılır



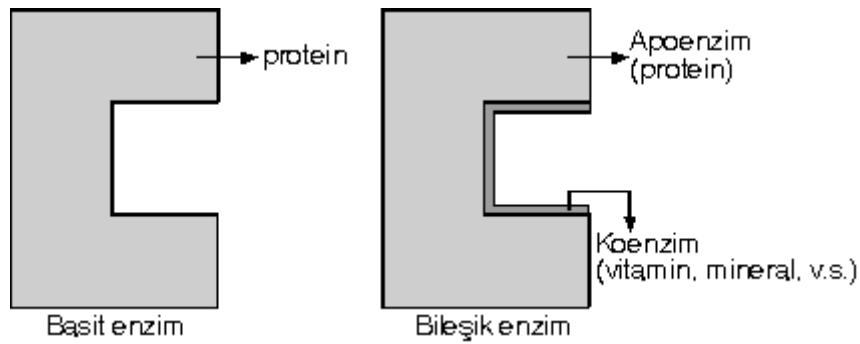
Şekil 4.1 Enzimlerin yapısal özellikleri

Holoenzimin kofaktör kısmı, bazı enzimler için Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} gibi bir veya daha fazla inorganik iyon; bazı enzimler için ise koenzim denen bir organik veya metalloorganik kompleks bir moleküldür (Altınışık, 2009).

Koenzimler, bazı enzimlerin aktiviteleri için gerekli olan ve kofaktör diye adlandırılan ek kimyasal bileşenlerin organik veya metalloorganik molekül yapısında olanlarıdır. Koenzim enzime çok sıkı bağlanmış olabildiği gibi, koenzim enzime çok gevşek olarak bağlanmış olabilir (Altınışık, 2009).

Koenzimlerin enzim proteinine çok sıkı bir şekilde kovalent olarak bağlı olup enzim proteininden ayrılmayanları prostetik grup olarak adlandırılırlar (Altınışık, 2009).

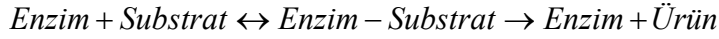
Koenzimlerin enzim proteinine çok gevşek bir şekilde nonkovalent olarak bağlı olup enzim proteininden ayrılabilenleri kosubstrat olarak adlandırılırlar (Altınışık, 2009).



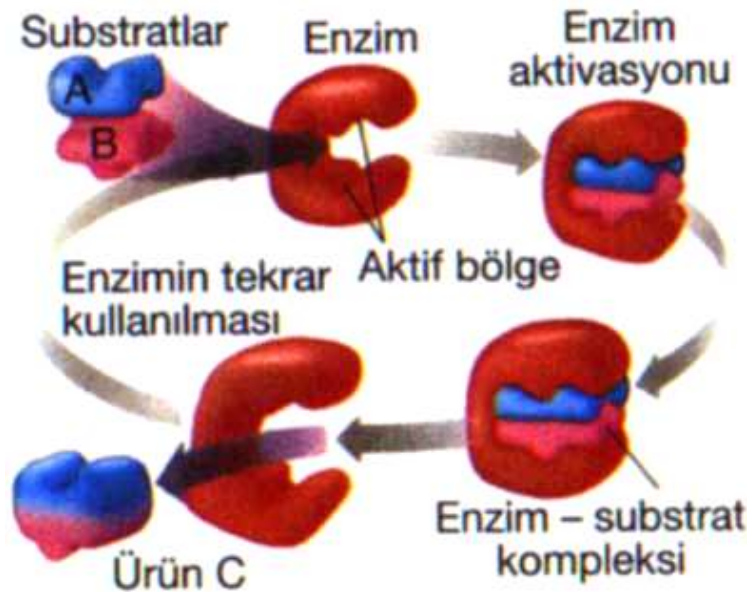
Şekil 4.2 Enzim-substrat etkileşimleri

Bir moleküler değişim sırasında mevcut molekül içi kovalent bağları kırmak için harcanması gereken enerjiye “aktivasyon enerjisi” denir. Kimyasal bir tepkime, moleküller minimumu enerji miktarı olan aktivasyon enerjisine sahipse gerçekleşir. Kimyasal tepkimeler genellikle ısı artışında formunda bir enerji girdisine bu nedenle ihtiyaç duyarlar. Sıcaklığı ya da reaktant derişimini arttırmak moleküllerdeki çarpışma sayısını arttıracığından kimyasal bir tepkimenin gerçekleşme sayısını arttıracığından, tepkimenin gerçekleşme şansını arttırır. Biyolojik sistemler ısı ya da derişimi arttıramaz, ancak(ısı eklenmesiyle eşdeğer olarak) aktivasyon enerjisi daha düşük olan alternatif yollar, stabilizasyon ve geçiş durumları sunarlar ya da (işlevsel anlamda derişimin arttırılmasına eşdeğer olarak) reaktantları birbirine yaklaştırır, uygun doğrultuya yönlendirir, onları daha düşük enerjili yapılar oluşturmaya zorlar ve tepkimenin gerçekleşebileceği yüzeyler sunarlar. Biyolojik sistemlerde bu işlevlerin tamamını gerçekleştiren “enzimler” dir (Yıldız, 2009).

Enzim katalizli bir tepkime genel olarak;



biçiminde yazılır. Çünkü enzimler substratlarını birbirlerine göre uygun doğrultuya getirip yakınlaştırdıktan sonra belirli amino asit dizilerinden oluşan “aktif bölge” lebine bağlarlar. Aslında, enzim katalizli bir tepkimenin ayırt edici özelliği, enzim üzerinde aktif merkez denen cep sınırları üzerinde meydana gelmesidir. Bir enzimin aktif merkezi, substratların bağlandığı, bağların yapımı ve yıkımına direk katılan amino asit birimlerin içerir. Bu birimler enzimlerin katalitik gruplarıdır. Enzimlerin özgülüğü de aktif bölgedeki titizlikle tanımlanmış atom düzenine bağlanmıştır. Substrat her katalitik döngüde aktif merkeze bağlanır ve “enzim-substrat kompleksi”ni oluşturur. Bu kompleks “aktifleşmiş kompleks” veya “geçiş kompleksi” olarak adlandırılır (Yıldız, 2009).

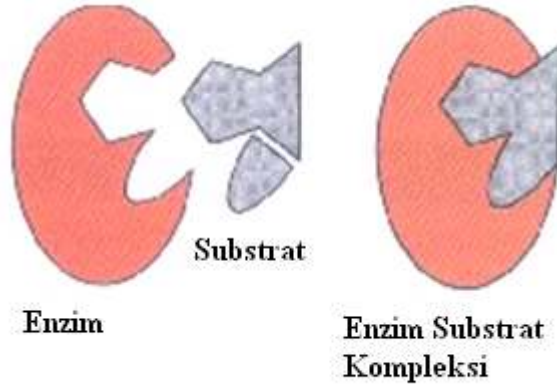


Şekil 4.3 Enzim-substrat ilişkisi

Aktifleşmiş kompleks oluşumu;

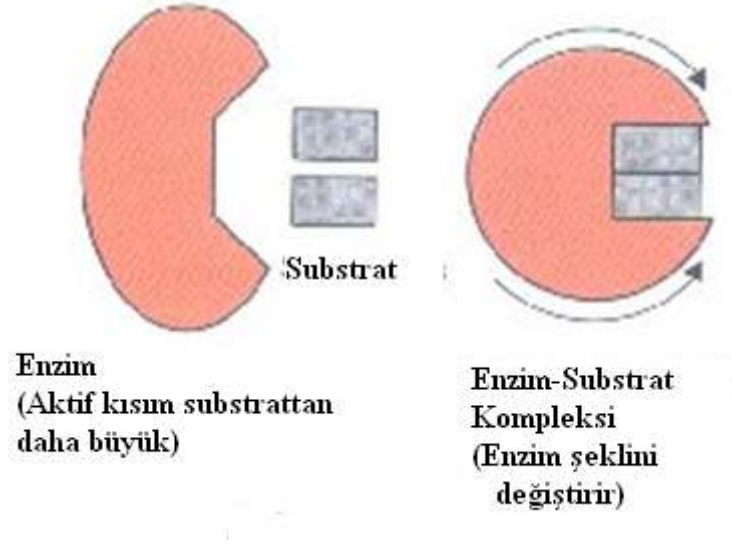
- Elektron mikroskobu veya x-ışını kristallografi yöntemleriyle doğrudan gözlenerek,
- Çözünürlük ve/veya ısı stabilitesi gibi fiziksel özelliklerdeki değişim ölçülerek,
- Enzimin renkli bir proestetik grup içermesi durumunda floresans spektroskopisi, nükleer ve magnetik rezonans gibi spektroskopik yöntemlerle, adsorpsiyon spektrumu gibi spektroskopik özellikleri ölçülerek,
- Yüksek düzeyde stereospesifiklik aktifleşmiş kompleks oluşumuyla mümkün olduğundan bu özellik ölçülerek,
- Katalizli tepkimeler sabit enzim değişiminde artan substrat derişimiyle maksimum hız doygunluğuna ulaşabildiğinden tepkime hızı ölçülerek ispatlanabilir.

Aktif kompleks mekanizmasına ilişkin değişik görüşler vardır. İlk hipotez, 1890 yılında Emil Fischer tarafından  ne sürülen “anahtar kilit” varsayıdır (Şekil 4.4). Bu hipotezde enzim kavramı “kilit”, onun spesifik substratı ise “anahtar” ile sembolize edilmektedir. Enzimin aktif bölgesi, katı, değişmez şekle sahip olduğundan substratın şekli de bu bölgeye uyacak biçimde olmak zorundadır. Buna göre, ancak özel bir substrat kendisine uygunluk gösteren enzim yüzeyine uyabilir. ”Anahtar-kilit” varsayımı enzimlerin substratlarına olan özgüllüğünü açıklayabilmesine rağmen, substrat benzeri moleküllerin enzimin aktif bölgesine bağlanabilmesi ve tepkimeye girmemesi, substratı benzer şekle sahip diğer moleküllerinde o enzimin spesifik substratı gibi davranabilmeleri vb. bazı olaylara açıklık getirememektedir (Yıldız, 2009).



Şekil 4.4 Enzim-substrat ilişkisinde “anahtar kilit” varsayımı (Altınışık, 2009)

Açıklanamayan olguların olması, günümüzde de kabul edilen Koshland’ın  ne sürdüğü (1958) “indüklenmiş uyum hipotezi” nin doğmasına neden olmuştur (Şekil 4.5). Bu hipotez enzimlerin aktif bölgelerinin oldukça esnek, konformasyonel olarak dinamik yapılar olduğunu kabul eder. Enzim ve substrat arasındaki etkileşimin enzimin aktif bölgesini substratın yakınlışmasına ve bağ oluşturmasına neden olacak konformasyonel değişimler kolayca ikna ettiğini (indüklediğini)  ne sürer. Bu konformasyonel değişim enzimle substrat birbirlerine daha iyi “uymalarını” sağlar. Substrat yokluğunda enzim eski konformasyonuna geri döner (Yıldız,2009).



Şekil 4.5 Enzim-substrat ilişkisinde “indüklenmiş uyum” hipotezi

4.2 Enzimlerin Uygulama Alanları

Zamanında enzimler genelde endüstri, klinik, tıp ve eczacılık gibi alanlarda kullanılmaktadır. Enzimler; bitkisel, hayvansal kaynaklardan ve mikro organizmalardan elde edilmektedir. Örneğin proteini parçalayan enzimlerden olan papain bitkisinden ; fisin., incir bitkisinden; nişastayı parçalayan alfa-amilaz, çimlenmekte olan arpadan; tripsin,büyük baş hayvanların pankreaslarından; pepsin tavuk ve sığırların bazı sindirim lizozim, yumurta akından; rennin veya proteaz enzimi, süt emmekte olan buzağların 4.midesinden endüstriyel ölçekte üretilmektedir (MSXLABS,2005).

Enzim kaynağı olarak mikroorganizmalar; kolay çoğalabilmeleri, enzim oluşumunun kolay kontrol edilebilmesi gibi nedenlerden dolayı potansiyel kaynak olarak düşünülürler. Bitkilerden elde edilen proteazların yanında, bakterilerden de proteaz amilazlar ve glikoz-izomeraz gibi endüstriyel öneme sahip enzimler de elde edilmektedir. Ayrıca glikoz oksidiz, katalaz, lipaz, laktoz vb. daha birçok enzim küf mantarından elde edilmektedir. Bugün tıp, eczacılık, tarım, hayvancılık, çevre, gıda, kağıt, tekstil, deterjan vb. birçok alanda enzimler kullanılmaktadır. Son yıllarda biyoteknoloji alanında gelişmelerle elde edilen enzimlerin kullanımının en fazla olduğu alan gıda endüstrisidir. Proteazlar ve amilazlar bu alanda en çok kullanılan enzimlerdir. Eczacılıkta da enzimler kullanılmaktadır.

Bu alandaki en iyi örneği, hazım kolaylaştırıcı bazı ilaçların bileşimindeki besinlerimizin temel bileşenlerinden olan proteini parçalayan proteaz, nişastayı parçalayan selüloz, yağları parçalayan lipaz ve laktozu parçalayan laktaz enzimlerdir. Enzimlerin eczacılıkta kullanıma bir diğer örnek de penisilin amidan enzimidir (MSXLABS,2005).

Yine enzim kullanımının en fazla olduğu alanlardan biriside deterjan endüstrisidir. Deterjanlar kullanılacakları alana göre bileşimi değişen kompleks karışımlardır. Bazı deterjanlar alkali koşullarda aktivite gösteren alkali-protez (bazik) enzimlerini içerirler, bazı deterjanların yapımında da amilaz ve lipazlar kullanılmaktadır. Bu enzimlerin etkisi ile özellikle protein, yağ ve nişastanın tesiriyle oluşan kirlilik etkisi bir şekilde temizlenir. Deri işlemede ve deri endüstrisinde de enzimlerden yararlanılmaktadır. Bakteriyel protezler, deri dokusu dışındaki proteinlerin ve yağların temizlenmesinde bazı proteazlar kullanılmaktadır (MSXLABS,2005).

Deriden kılların ayrılmasında ve derinin yumuşatılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca çeşitli selülozlu atıkların karbon kaynağı olarak kullanılmasında, kalitesiz yağlardan daha kaliteli yağların elde edilmesinde enzimlerden yararlanılmaktadır (MSXLABS,2005).

Yapılan pek çok araştırma sonucunda, enzimlerin kullanım alanları giderek artmaktadır. Özellikle son yıllarda rekombinant-DNA teknolojisine paralel olarak, yeni ve istenilen özellikteki enzim elde edilmesi mümkün olmaktadır; buna bağlı olarak da enzim kullanımı giderek yaygınlaşacaktır (MSXLABS,2005).

Süt, alkol, kağıt gibi önemli endüstrilerde kullanılan enzimler ve örnekleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Enzim kullanımının endüstriyel uygulamalardaki örnekleri

Uygulama	Kullanılan Enzim	Örnekler
Süt Endüstrisi	Genç geviş getirici hayvanların midesinden elde edilen Rennin.	Peynir üretimi, proteinin hidrolizi için.
	Mikroplar tarafından üretilmiş enzim	Süt endüstrisinde artarak kullanılmaktadır
	Lipazlar	Mavi küflü Rokfor peynirinin üretimi sırasında peynirin olgunlaşmasında kullanılır.
	Laktazlar	Laktozun glukoz ve galaktoza parçalar
Alkol Endüstrisi	Bira üretiminde arpanın ezilmesi ile enzimler salınır.	Bu enzimler nişasta ve proteinleri parçalayarak basit şekerler amino asitler ve peptitler üretir, bunlar da fermantasyonda kullanılır.
	Arpa enzimlerinin endüstriyel üretimi	Biracılıkta yaygınca kullanılır, arpadaki doğal enzimler yerine kullanılırlar.
	Amilaz, glukanaaz, proteazlar	Malttaki polisakkarit ve proteinleri parçalarlar.
	Betaglukanazlar ve arabinoksilanazlar	Arpa bulamacını (wort) ve biranın filtrelenme özelliklerini iyileştirirler.
	Amiloglukozidaz ve pullulanazlar	Düşük kalorili bira yapımı ve fermantasyonun ayarlanması.
	Proteazlar	Biranın saklanması sırasında oluşan bulanıklığın giderilmesi.
	Asetolaktatdekarboksilaz (ALDC)	Diasetil oluşumunu engellemek

Çizelge 4.1 Devam

Meyve suları	Selulazlar, pektinazlar	Meyve sularının berraklaştırılması
Kağıt Endüstrisi	Amilaz, Ksilanaz, Selulaz ve Ligninazlar	Nişastanın daha düşük viskoziteye indirerek kağıdın şekillenmesi ve kaplanmasını kolaylaştırır. Ksilinaz, renk gidermek için kullanılan çamaşır suyu miktarını azaltır. Selülaz lifleri düzgünleştirir, su çekilmesini artırır ve mürekkep giderilmesini kolaylaştırır; lipazlar kalınlığı azaltır. Ligninazlar lignini sindirip kağıdı yumuşatırlar.
Biyoyakıt Endüstrisi	Selülaz	Selülozu fermante edilebilir şekerlere parçalamak için kullanılır.
	Ligninazlar	Lignin atıkların kullanımı
Kauçuk Endüstrisi	Katalaz	Peroksitten oksijen üretilerek lateksten sünger kauçuk imal etmek için kullanılır.
Moleküler Biyoloji	R estriksiyon enzimleri, DNA ligaz ve polimerazlar	Gen mühendisliğinde DNA'nın manipülasyonu için, farmakoloji, tarım ve tıpta kullanılır. Restriksiyon sindirimi ve polimeraz zincir reaksiyonu için esastırlar. Moleküler biyolojinin ayrıca adli bilimde de önemli bir yeri vardır.

4.3 Atıksu Arıtımında Enzim Uygulamaları

Alıcı ortamlara atık deşarjının giderek daha sıkı standartlarla kontrol edilmesi, alternatif arıtma yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Farklı mikroorganizmalardan ve bitkilerden elde edilen çok sayıda enzimin atık arıtım uygulamalarında önemli rol oynadıkları bildirilmiştir. Enzimler spesifik inatçı kirleticilerin daha basit ayrıştırılabilir yapılara dönüşmesinde etkin rol oynayabilirler. Aynı zamanda atığın karakteristiğini değiştirerek atığı arıtıma daha yatkın forma dönüştürebilir veya atık maddeyi değerli son ürünler halinde getirebilirler (Yıldız, 2009).

Son yirmi yıldır yürütülen hatırı sayılır araştırma göstermiştir ki atık arıtımında enzimler yeni olanaklar sağlamaktadır. Atıksu arıtımında enzimlere duyulan bu ilgiyi üç maddede toplamak mümkündür:

- Xenobiotiklerin ve inatçı organik atıkların üretim oranının artması ve bu atıkların konvansiyonel biyolojik proseslerle ve kimyasallarla arıtımının giderek zorlaşması, bu yüzden de daha güvenilir, yüksek hızlı,ucuz,daha kolay uygulanabilir ve yüksek verimli yöntemlere ihtiyaç duyulması,
- Enzimlerin giderimi amaçlanan spesifik kirleticilere doğrudan uygulanabilmesi,
- Biyoteknoloji alanındaki gelişmelerin enzimlerin daha ucuz eldesini sağlaması ve saflaştırma, izolasyon işlemlerinin daha kolay yapılmasını sağlaması.

Çoğu atıksu arıtım prosesleri fiziko-kimyasal yada biyolojik prosesler olarak sınıflandırılmaktadır. Enzimatik arıtım biyolojik katalizörler temeline oturarak bu iki geleneksel arıtım yönteminin arasında kalmaktadır (Yıldız, 2009).

Konvansiyonel arıtma yöntemleriyle karşılaştırıldığında enzimatik arıtımın potansiyel avantajları;

- Parçalanmaya dirençli bileşiklere uygulanabilmesi,
- Yüksek ve düşük kontaminasyonlara kolaylıkla uygulanabilmesi,
- Geniş pH, tuzluluk, sıcaklık aralıklarında uygulanabilmesi,
- Şok yükleme etkilerine dayanabilmesi,
- Biyokütlenin alıştırma sürecinin enzimler için gerekli olmayışı,
- Yeni biyokütle üretimi olmadığı için çamur hacminde azalma olması
- Proses kontrolünün basit ve kolay oluşudur.

Çevre Mühendisliği'nde doğal arıtımın yanı sıra atıksuların arıtımında da enzimler kullanılmaktadır. Mandıra atıksuları, kesimhane atıksuları, tarıma dayalı atıksular, yiyecek endüstrileri ve yüksek yağ-gres kirliliğine sahip atıksuların arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler uygulanmaktadır. Fiziksel ve kimyasal giderimde; alüminyum sülfat, ferrik klorür ve ferrous sülfat gibi kimyasallar eklenerek protein ve yağlardan kaynaklanan organik yükün azaltılması ve partikül giderimi sağlanmaktadır. Ancak ayrıca kimyasalların maliyeti yüksek ve çözünmüş KOİ ihtiyacı düşük olduğundan kimyasal proseslerdense biyolojik prosesler tercih edilmektedir.

Bu tip zor ayrışabilir atıksularda birçok aerobik yöntem kullanılmaktadır; havalandırılmış lagünler, aktif çamur prosesleri, damlatmalı filtreler, döner biyolojik kontaktör gibi. Bu metotlar zaman içinde araştırmacılar tarafından sorgulanmış ve neredeyse tamamında yüksek havalandırma maliyetleri, tıkanma ve biokütle artışı gibi durumlarla karşılaşmıştır. Bu sebeplerden dolayı çeşitli endüstrilerinden kaynaklanan atıksuların giderimi için düşük maliyetli ve verimli teknikler araştırılmıştır. Bu araştırılan tekniklerden biri de anaerobik arıttırma.

Anaerobik arıttırma enzim kullanımı genellikle bir ön arıtım ünitesi şeklinde uygulanmaktadır. Kullanılan enzimler sıvı şeklinde veya çeşitli maddelerden (hayvan gübresi vs.) katı faz fermantasyonu ile saflaştırılarak kullanılmaktadır.

Çeşitli araştırmacıların anaerobik reaktörlerde arıttırma esnasında enzimatik hidroliz ön işlemi ile giderim verimi hakkında yaptıkları çalışmalara değinilmiştir.

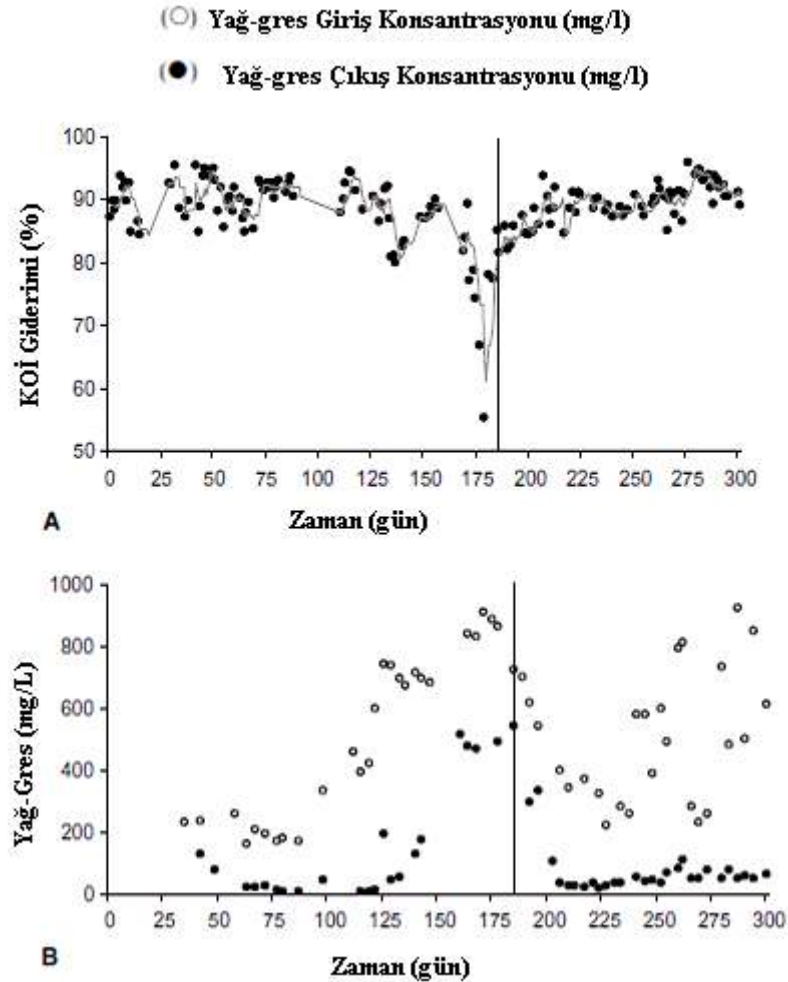
Leal vd., (2002), çeşitli konsantrasyonlarda yağ-gres içeren mandıra atıksuyunu enzimle ön işleme tabi tutup anaerobik arıtılması ile ham atıksuyun ön işlemsiz anaerobik arıtılması arasındaki farkı araştırmışlardır. Ön işlem sırasında atıksu sıvı enzimle (%10 v/v) 35 °C'de 12 saat karıştırma olmaksızın hidroliz olmuştur. Ham ve hidroliz olmuş atıksu 120 ml'lik cam şişelerde 96 saat anaerobik bir ortamda tutulmuştur elde edilen sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Ön işlem gören ve ham atık suyun KOİ giderim verimleri

Giriş Yağ-Gres Konsantrasyonu (mg/l)	KOİ Giderim Verimleri (%)	
	Ham Atıksu	Ön İşlem Görmüş Atıksu
180	55	95
450	70	91
900	37	80
1200	19	80

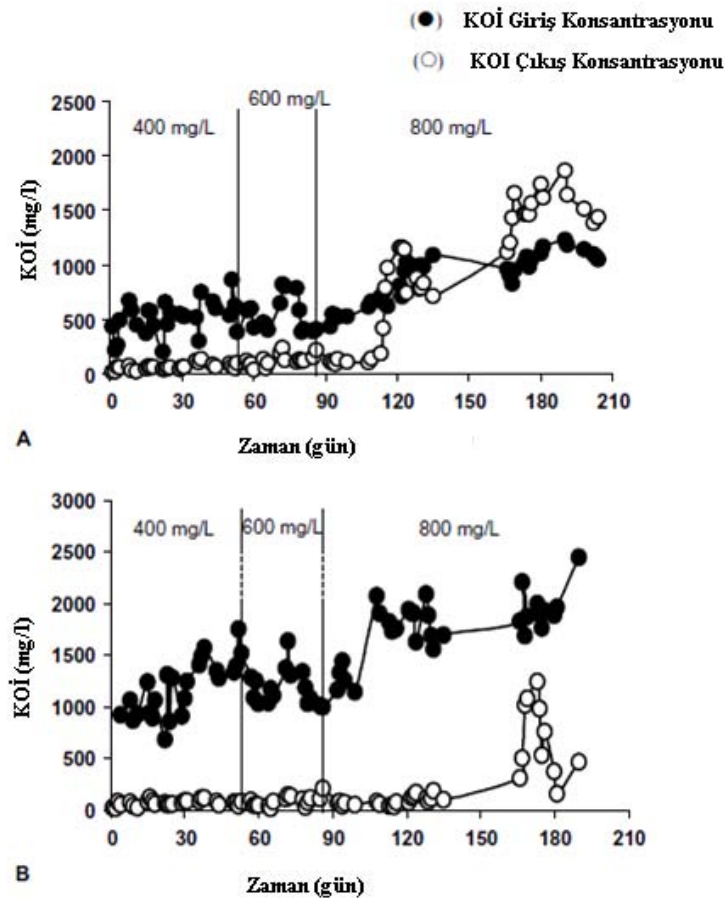
Çizelge 4.2'den de görüldüğü üzere ön işlen gören atıksuyun KOİ giderim verimi yağ-gres konsantrasyonu artmasında rağmen %80 olarak bulunmuştur. Ham atıksuyun KOİ giderim verimi ise %19'lara gerilemiştir.

Cammarato vd., (2001), 301 günlük araştırma süresinde mandıra atıksularının UASB ile arıtılabilirliğini incelemişlerdir. Atıksuyun yağ içeriği değişken olup; 0-90 günleri arasında 203 mg/l, 91-125 günleri arasında 404 mg/l, 126-182 günleri arasında 868 mg/l ve 183-301 günleri arasında 800 mg/l'dir. Çalışmaları sırasında 182.günden sonra gübreden elde edilen lipaz siteme verilmiştir. Reaktörün sıcaklığı 33 °C olup, HBS'si 20 saattir. Reaktöre sıvı lipaz enzimi verilmesinden sonra sistemdeki KOİ giderim verimi atıksuyun yağ-gres konsantrasyonu artmasına rağmen %90'ların altına inmeyerek başarılı bir performans sergilemiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Reaktörün KOİ verimi (A) ile ham atıksuyun ve arıtılmış atıksuyun yağ-gres konsantrasyonunun (B) zamanla değişimleri

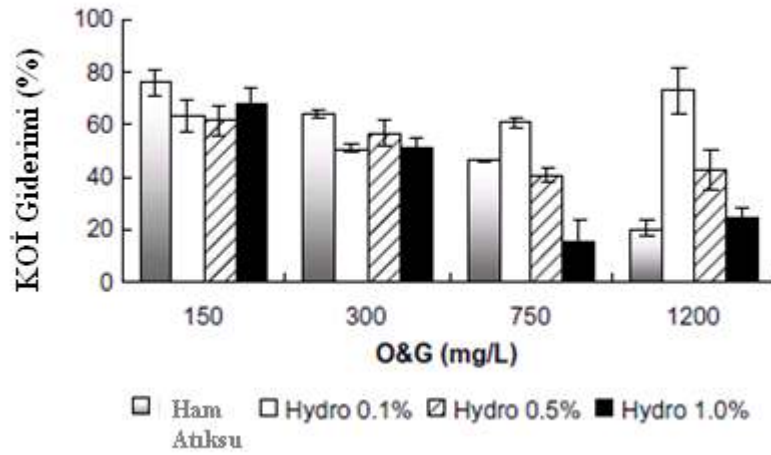
Jung vd., (2002), yaptıkları çalışmada farklı konsantrasyonlarda yağ-gres içeren mandıra atıksularını kesikli olarak anaerobik arıtmışlardır. Şekil 4.7.A'da ham atıksuyun, Şekil 4.7.B'de enzimatik hidroliz ön işlem görmüş atıksuyun KOİ konsantrasyonları verilmiştir. Lipaz enzimi gübrenin 8 saat boyunca 30 °C'de işlem görüp, *P.restrictum* mantarının üretmesi ile elde edilmiştir. Kesikli sistemler 25 °C'de 24 saat çalıştırılmıştır. Ham atıksuyun çıkış KOİ konsantrasyonu, yağ-gres konsantrasyonu 800 mg/l'ye ulaştığında, giriş konsantrasyon değerini de aşarak kötü bir grafik izlemiştir. Enzimatik ön işlem gören atıksu ise konsantrasyon artışından etkilenmemiştir.



Şekil 4.7 Ham atıksuyun ve ön işlem gören atıksuyun KOİ giriş ve çıkış konsantrasyon değerleri

Bilimadamları mandıra atıksularının haricinde tavuk çiftliği atıksularında da enzimatik hidroliz işleminin sistem verimine etkilerini izlemiştir.

Valladao, (2005), tavuk çiftliği endüstrisinden kaynaklanan atıksuları çeşitli oranlarda enzimlerle hidroliz işlemine tabi tutmuştur. Deneyler 6 gün boyunca 35 °C’de yürütülmüştür. Şekil 4.8’den görüldüğü üzere yağ-gres konsantrasyonu düşükken enzim ilavesinin etkisi görülmezken, konsantrasyon arttıkça enzimle hidroliz işleminin KOİ giderim veriminin de olumlu etkisi görülmüştür. Bunun yansıra araştırmacının hidroliz aşamasını farklı dozlardaki enzimlerle denemiştir. Ve en iyi sonucu hacimce %1 enzim ilavesiyle elde etmiştir.



Şekil 4.8 Yağ-gres konsantrasyonu ve KOİ gideriminin zamanla değişimi

Yukarda örnekleri verilen çalışmalardan yola çıkılarak evsel atıksuların anaerobik arıtımında ilave verim sağlayacak bir yöntem arayışına girilmiştir. Ve yapılan ön çalışmalar enzim ilavesinin KOİ gideriminde olumlu rol oynadığı görülmüş ve çalışma bu yönde hazırlanan bir düzenekle başlamıştır.

5. MATERYAL ve METOT

5.1 Materyal

5.1.1 Anaerobik reaktör

Bu çalışmada 2 adet anaerobik yukarı akışlı çamur yataklı reaktör kullanılmıştır. Reaktörler özdeş olup toplam yükseklikleri 80 cm'dir. Sıvı hacmi için 68 cm, gaz hacmi için 12 cm ayrılmıştır. Yaklaşık 12.5 cm'de bir numune alma muslukları yerleştirilmiştir. 4 adet numune alma musluğu vardır. Reaktörler pleksiglasdan yapılmış olup, her birinin çapı 13 cm'dir. Sistemin aktif hacmi 2 litre olarak planlanmıştır

Laboratuvar ortamında reaktörlerin dik durabilmesi için her iki reaktöre demirden 4 ayaklı bir dayanak sistemi yapılmıştır (Şekil 5.1).

Reaktörler işletilmeye alınmadan önce sızdırmazlık ve gaz geçirim testleri yapılmıştır. Bunun için önce reaktörlerin besleme pompası, atıksu giriş ve çıkış hatlarının bağlantıları yapılmıştır. Sonra atıksu giriş-çıkış hatları ile granül numunesi alınacak 1-2-3-4 nolu musluklara uygun çaplarda boru bağlantıları yapılmıştır. Gaz çıkış hattı, su kapağı ve gaz sayacı arasındaki bağlantı yapılmıştır. Su kapağı ve gaz sayacı emniyet açısından ahşap üniteye sabitlenmiştir. Daha sonra reaktörler ölçeklendirilmiş ve iç sıcaklıklarının ölçülmesi için reaktörlerin çıkış yapılarına yakın, uygun yerlere yapışkan termometreler takılmıştır. Son olarak reaktörlerin en üstündeki katı-sıvı-gaz ayırıcı kısım gaz kaçağı olmaması için dışarıdan parafilm ile kaplanmıştır.(Şekil 5.2)



Şekil 5.1 Özdeş HÇYR'lerin genel görünüşü



Şekil 5.2 Termometrenin görünüşü



Şekil 5.3 Gaz çıkış hattı, su kapağı ve gaz sayacı arasındaki bağlantının görünüşü

Reaktörlerin içi tamamen musluk suyu ile doldurulup, suyun birkaç kez savaklanması gözlemlendikten sonra reaktörlerin giriş ve çıkış yapıları kapatılıp, reaktörler tamamen su ile doldurulmuştur. Bu şekilde 1 hafta bırakılan reaktörlerin herhangi bir sızdırma yapmadığı görülmüştür. Daha sonra gaz çıkış vanalarına birer balon takılıp, 4. musluktan hava verilerek balonların şişip şişmediği gözlenmiştir. Her iki balonun şişmesi ile iyi bir sıvı-gaz ayrımının gerçekleştiği anlaşılmıştır.



Şekil 5.4 İşletmeye alınmış sistemlerin görünüşü

Sistemin ısıtılması için numune alma musluklarını açıkta bırakacak şekilde reaktörlerin etrafını saran 4 cm eninde pleksiglastan bir su ceketı yapılmıştır.

Her bir su cebinin hacmi 21 litredir. Su cebinin üst kısmı buharlaşma kaybını önlemek için kapatılmıştır ve ısıtıcı haznenin ortasına bir ısıtıcı takılmıştır. Atman marka ısıtıcı 100W gücündedir. Su cebi ve ısıtıcının görüşünü Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5 Isıtıcıların ve su ceketinin üstten görünüşü

Reaktörün beslemesinde, sabit bir debi sağlayabilmek için her bir reaktöre Watson Marlow 401U/D1 marka pompa kullanılmıştır (Şekil 5.6).

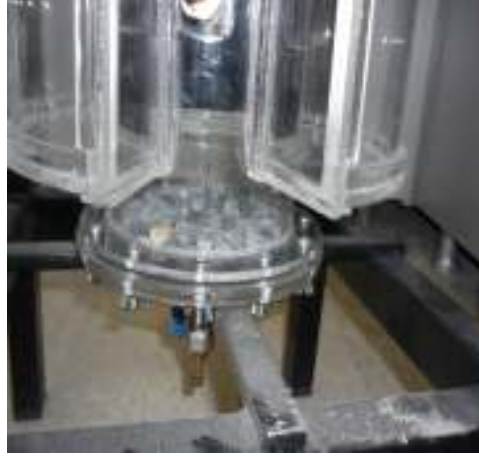


Şekil 5.6 Peristaltik pompa

Besleme suyu sürekli olarak mekanik karıştırıcı ile karıştırarak homojen bir konsantrasyon sağlanmıştır.

5.1.2 Anaerobik çamurun reaktöre konulması

Önce her iki reaktörün tabanına yuvarlak kesit tel ızgara konulmuş, üstünü örtecek kadar 1-2 cm çapında çakıl taşları döşenmiştir. Reaktörlere 2 litre hacminde granüler çamur, reaktörlerin tepesi sökülerek konmuştur. Konulan ızgara ve çakıl taşları ile hem granüler çamurun kaçıışı engellenmiş hem de düzgün bir atıksu akışı sağlanmış olacaktır (Şekil 5.7, Şekil 5.8).



Şekil 5.7 HÇYR' nin giriş yapısının görünüşü

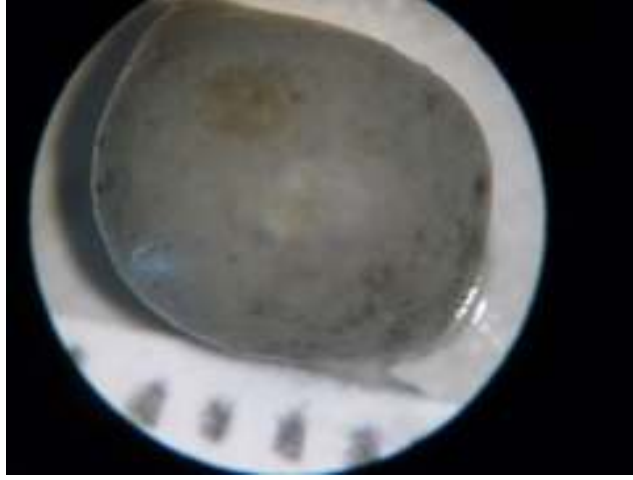


Şekil 5.8 Tel ızgaranın görünüşü

Sisteme konulan granüler çamur yerel bir çikolata fabrikasının EGSB reaktöründen alınmıştır. Alınan çamurun TKM miktarı 92 g TKM/l ve TUKM miktarı 76 g UKM/l'dir. Granüllerin mm bazında ölçümleri de yapılmıştır (Şekil 5.9). Granüllerin ebatları yaklaşık 3-4 mm çapındadır (Şekil 5.10).



Şekil 5.9 Steromikroskop için lama konulan granüllerin resmi



Şekil 5.10 Aşılana granüler çamurdan alınan bir granül (Resimdeki her bir çizgi 1mm ye karşılık gelmektedir.)



Şekil 5.11 Aşılana granüler çamurdan alınan başka bir granülün resmi

5.1.3 Reaktörün besleme suyu ile çalıştırılması

Devreye almada reaktörler ilk kademede sentetik glikoz içeren su ile çalışmaya başlatılmıştır. Her iki reaktörde evsel atıksu beslemeden önce granüllerin ortama alışması için ilk 10 gün glikoz çözeltisi ile beslenmiştir. Hazırlanan sentetik atıksuyun KOİ/N/P oranı 300/5/1 oranına uygun olarak hazırlanmıştır.

Sentetik atıksu içersine glikoz, fosfor ve azot kaynağı olarak sırasıyla; $C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$, $CO(NH_2)_2$ ve KH_2PO_4 kullanılmıştır. Hazırlanan çözeltinin bileşenleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Sentetik atıksu içeriği

Bileşenler	Miktar (gr)
$C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$	2,08
$CO(NH_2)_2$	0,036
KH_2PO_4	0,0145

Kullanılan sentetik atıksu çizelgedeki kimyasal maddelerin 1 litre musluk suyu ile çözülmesiyle hazırlanmaktadır.

İkinci kademede reaktörlerde uygun çıkış pH’sı, KOİ giderim verimi ve gaz çıkışı görüldükten sonra, sistem evsel atıksu ile beslenmeye başlanmıştır. Evsel atıksu Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü’nden temin edilmiştir. Atıksuyun özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Evsel atıksu karakterizasyonu

Parametre	Konsantrasyon
pH	7,63±0,25
Alkalinite	670±80
KOİ	1600±800
TKN	136±10
NH_3-N	107±5
AKM	3400±550
UAKM	2100±200

Alınan atıksuyu konsantrasyonunun çok yüksek olması nedeniyle çalışma boyunca sisteme musluk suyu ile seyreltilerek verilmiştir.

Seyreltilerek sisteme verilen atıksuyun özellikleri de Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Sisteme beslenen evsel atıksuyun özellikleri

Parametre	Konsantrasyon
pH	7,23±0,15
Alkalinite	640±40
KOİ	1000±200
TKN	76±5
NH ₃ -N	50±6
AKM	2100±700
UAKM	900±200

5.1.4 Çalışmada kullanılan doğal enzimatik temizleyicinin temini ve özellikleri

Çalışmada KOİ ve amonyak azotunun giderim veriminin artırılması için Microcat ECL ticari ürünü, Bioscience firmasının Türkiye temsilcisi olan Bioscienceturk firmasından temin edilmiştir.

Microcat ECL enzimatik temizleyicisi, doğal enzimlerin uygun oranda, dengeli karışımıyla ve yüzey aktif madde ilavesiyle emülsifiye edilmiş bir ürün olup daha çok biyolojik arıtma sistemlerinde iyileştirme amacıyla kullanılmaktadır. Firma tarafından yapılan ürün tanıtımında anaerobik ortamda koku kontrolünde, çamur eldesinde, oksijen iletiminin zayıf olduğu evsel ve endüstriyel arıtma tesislerinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Microcat ECL enziminin özellikleri ve uygulama koşulları Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Microcat ECL özellikleri

Görünüm	Kahverengi,yarı şeffaf,viskoz olmayan sıvı
İçerik	Doğal enzimler,yüzey aktif maddeler ve koruyucular
Raf Ömrü	1 yıl
Paketleme	18.9 Litre (19.06 kg) veya 208 Litre (211.36 kg) fiçılar

Çizelge 5.5 Microcat ECL uygulama koşulları

Ortam Şartları	Aralık	Optimum
pH	6 – 9	7
Sıcaklık, ° C	10 – 40	35

5.2 Metot

5.2.1 Analitik yöntemler

Çözünmüş KOİ ve KOİ, $K_2Cr_2O_7$ - H_2SO_4 karışımı ile oksidasyon ve 0,025 N $Fe(NH_4)SO_4$ ile titrasyon yöntemiyle ölçülmüştür. Amonyum, borat tamponuyla pH 9,4'de H_3BO_3 içine distilasyon ve takiben 0,02 N H_2SO_4 ile titrasyonla ölçülmüştür. Alkalinite, metil oranj indikatörü eşliğinde, 0,02 N H_2SO_4 titrasyonu ve AKM-UAKM, gravimetrik yöntemle ölçülmüştür. UYA fenolftalein indikatörü eşliğinde 0,1 N NaOH titrasyonu ile ölçülmüştür. Analizlerin tümü standart metotlara uygun olarak yapılmıştır (Standart Methods, 1995) (APHA AWWA, 1995).

Çalışma boyunca sistemi izlemek ve kararlı denge koşullarını kontrol etmek için günlük ve periyodik aralıklarla rutin analizler yürütülmüştür. Reaktöre verilen ve çıkan atıksuyun analizlerinin haftalık ölçülmesi, verimin değerlendirilmesi için yapılacak deneyler ve zamanları belirlenmiştir (Çizelge 5.6). Bu şekilde sistemli çalışılarak alıştırma devresinde reaktörün çalışması ve mikroorganizmaların gelişimi ayrıntılı bir şekilde izlenecektir.

Çizelge 5.6 Çalışma süresi boyunca reaktörlerde izlenen ölçümler

Evsel Atıksuda Yapılan Ölçümler	
Parametre	Ölçüm Sıklığı
Sıcaklık	Her gün
pH	Her gün
KOİ	Haftada 2 kez
Çözünmüş KOİ	Haftada 2 kez
AKM-UAKM	Haftada 1 kez
TK-UK	Haftada 1 kez
UYA	haftada 2 kez
Alkalinite	Haftada 2 kez

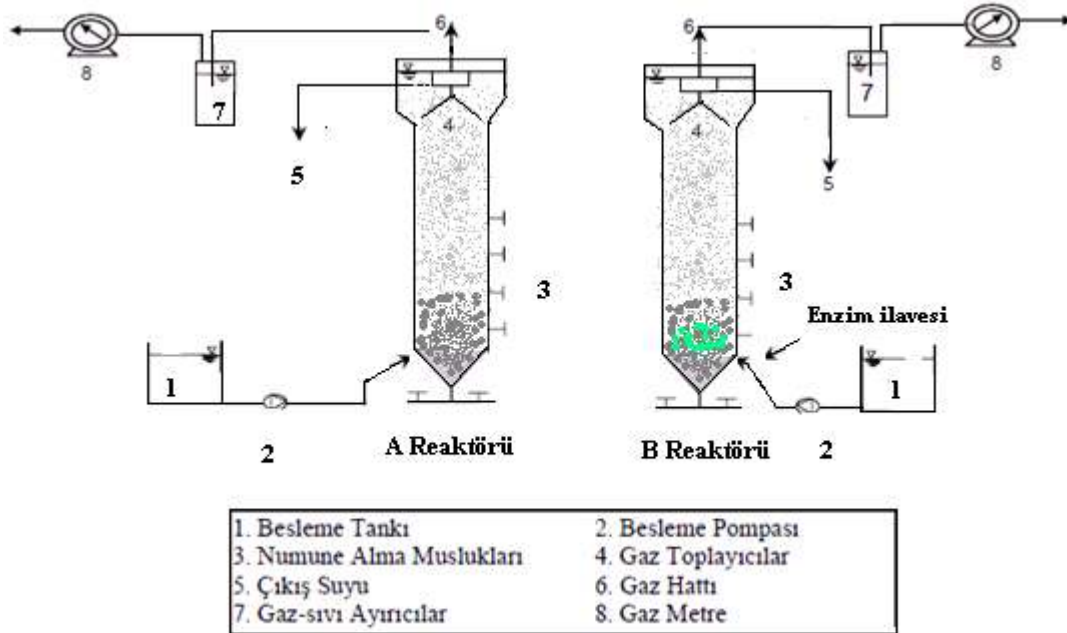
5.2.2 Deneysel çalışma

Reaktörler yerel bir çikolata fabrikasında kurulu anaerobik çalışan sistemden alınan çamurla aşılanmıştır. Evsel atıksuyun KOİ' sinin çikolata fabrikası KOİ' sinden oldukça düşük olmasından dolayı devreye alma süresinde başlangıç değeri 2400 mg KOİ/l konsantrasyonuna sahip glikoz çözeltisiyle beslenmiştir. Alışma devresi boyunca KOİ, günlük üretilen biyogaz miktarı ve pH takip edilmiştir. 10 günlük bir dönem sonunda organizmaların glikoz çözeltisine adaptasyonu sağlanmıştır. Adaptasyon sürecinde reaktörün pH'sı 7-7,5 civarında tutulmaya çalışılmıştır. Adaptasyon sürecinde reaktörlerin HBS'si 48 saat olmuştur.

10 günlük bu periyottan sonra reaktörler Davutpaşa Kampüsü'nden alınan evsel atıksuyla beslenmeye başlanmıştır ve eş zamanlı olarak reaktörlerin HBS'leri 24 saate düşürülmüştür.

Tüm deneysel çalışma boyunca her iki reaktöründe organik yükleme hızı 6 g KOİ/m³-gün olarak tutulmuştur.

Laboratuarda kurulu iki adet UASB reaktörden bir tanesi kontrol enzim ilavesiz ("A" reaktörü); diğeri ise enzim ilaveli ("B" reaktörü) olarak adlandırılmıştır. Bir sonraki bölümde (5.2.3) bahsedilecek optimum enzim dozajı B Reaktörüne ani yükleme ile ilave edilmiştir.



Şekil 5.12 Kurulan sistemlerin şeması

Bu şekilde hazırlanan sistemlerden elde edilen değerler sonuç ve değerlendirme bölümünde verilmiştir.

5.2.3 Optimum enzim miktarının belirlenmesi

Evsel atıksu arıtımında kullanılan laboratuvar ölçekli havasız çamur yataklı reaktörden daha iyi çıkış kalitesi alabilmek için Microcat ECL ticari enzimi kullanılmıştır. Bu enzimin sisteme hangi miktarda verilmesini belirlemek için anaerobik reaktöre benzer bir düzenek kurulmuştur.

Laboratuvar ortamında 30 °C’de işletilen anaerobik reaktörün toplam hacmi 10 litre ve içersinde 2 litre anaerobik çamur bulunmaktadır. Sistemin hidrolik bekleme süresi 24 saattir. Buna benzer bir sistem oluşturmak için 250 ml’lik şilifli erlenler içersine 50 ml anaerobik çamur ve 200 ml evsel atıksu konularak erlenlerin ağzı hava almaması için 2 kat parafilmle sarılmıştır (Şekil 2.13)



Şekil 5.13 Hazırlanan deney gruplarının görünüşü

Optimum enzim miktarını bulabilmek için 3 farklı miktardaki enzim evsel atıksuya ilave edilerek 3 deney grubu hazırlanmıştır.

Bu deney gruplarının haricinde enzimin sistem verimine etkisinin daha net anlaşılabilmesi için enzim konulmadan hazırlanan evsel atıksu ile şahit deney grubu hazırlanmıştır.

1. Deney Grubu: 0,2 ml/ l
2. Deney Grubu : 0,6 ml/ l
3. Deney Grubu : 1 ml/ l
4. Deney Grubu: kontrol

İçersine anaerobik çamur ve evsel atıksu (enzimli ve enzimsiz) konularak hazırlanan 8 erlen 30 °C ayarlanmış inkübatöre konulmuştur. Laboratuvar ölçekli anaerobik sistemde oluşan karışma etkisinin oluşması için inkübatöre konulan erlenler birkaç saat aralıklarla elle karıştırılmıştır (Şekil 2.14).

Her deney grubu sistemin 3 saat ve 24 saat sonraki performansının izlenmesi için 2 örnekle çalışılmıştır. Bu şekilde enzimli ve enzimsiz düzeneklerin performansının zamanla değişimi görülmüştür.



Şekil 5.14 Deney gruplarının inkübatör içersindeki görünüşü

İlk etapta inkübatöre konulan deney gruplarının her birinden bir örnek 3 saat sonra inkübatörden alınmıştır. Alınan numuneler kaba filtreden süzülerek saklanmıştır. İkinci etapta ise kalan numuneler 24 saat sonra inkübatörden alınmış ve kaba filtreden süzölmüştür. Tüm deney gruplarının ve iki etabın analiz sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Kesikli sistemde elde edilen sonuçlar

	pH		Amonyak		KOİ	
	3 saat	24 saat	3 saat	24 saat	3 saat	24 saat
1. Denek (0,2 ml/l)	7,72	7,86	50	50	874	720
2. Denek (0,6 ml/l)	7,71	7,64	54	55	912	835
3. Denek (1 ml/)	7,71	7,66	56	56	970	864
4. Denek (Şahit)	7,63	7,57	62	58	931	883

Kullanılan ham evsel atıksuyun değerleri KOİ= 1100 mg/l ve NH₃-N= 63 mg/l’dir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre optimum enzim miktarı KOİ ve amonyakta en yüksek giderimi sağlayan 1. Deney grubu (0,2 ml/l) olarak bulunmuştur.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

6.1 Evsel Atıksu Bileşenleri

Evsel atıksuların anaerobik arıtılabilirliğini araştırmak maksadıyla gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan reaktörlerden alınan çıkış suyu numunelerinde pH, Toplam Alkalinite, KOİ, ÇKOİ, Uçucu Yağ Asidi, AKM, UAKM ve $\text{NH}_3\text{-N}$ parametrelerinin zamana bağlı değişimleri izlenmiştir. Bu analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

6.2 pH ve Sıcaklık

Anaerobik arıtmada pH değişimlerine en hassas grup metan bakterileridir. Metan bakterileri için optimum pH aralığı 6,5 – 8,5'dur. Genellikle sistem performansı pH düştüğünde düşer ve daha sonra durur (Speece, 1996).

Havasız arıtma sıcaklık değerine göre iki kademe olarak ayrılabilir. İlki mezofilik kademedir ve 25-40 °C aralığındadır. İkincisi ise termofilik kademedir ve 50-60 °C aralığındadır. (Öztürk, 1999). Yavaş olan sıcaklık değişimlerine mikroorganizmalar adapte olurlar, ancak ani sıcaklık değişimleri mikroorganizmalar üzerinde inhibisyon etkisi yapar. Bu yüzden anaerobik proseslerin ± 2 °C aralığında çalıştırılması gerekir. Bu bilgiler ışığında iki sisteminde daha fazla ısınması ve mevcut sıcaklığın korunması için, her iki reaktörün etrafına bir su ceketı yaptırılıp, ısıtıcı monte edilmiştir.

Reaktörlerden alınan numunelerin pH ve sıcaklıklarının zamanla değişimi Çizelge 6.1' de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere 15. Temmuz.2008 tarihinde (3. Hafta) B reaktörüne verilen enzim pH ve sıcaklıkta belirgin bir farklılık yaratmamıştır. Buna ek olarak her iki sistemin de pH değerleri literatürle uyumludur.

Çizelge 6.1 Şahit (A Reaktörü) ve enzim eklenen (B Reaktörü) reaktörlerdeki pH ve sıcaklık değişimi

	pH		Sıcaklık °C	
	A Reaktörü	B Reaktörü	A Reaktörü	B Reaktörü
1. Hafta	7,39	7,38	26	26
2. Hafta	7,68	7,75	27	26
3. Hafta	7,45	7,58	28	28
4. Hafta	7,17	7,46	28	29
5. Hafta	7,25	7,13	29	29
6. Hafta	7,40	7,30	29	29
7. Hafta	7,44	7,36	30	30

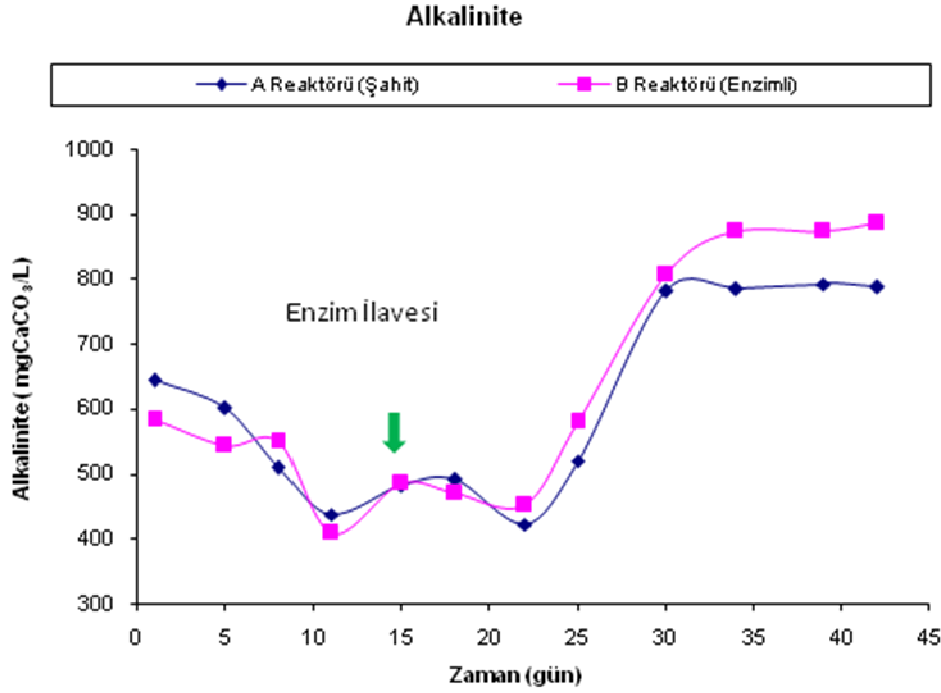
6.3 Alkalinite ve UYA

Biyolojik sistemlerde alkalinite, ayrışma için gerekli pH değerinin istenen seviyenin altına düşmesine yol açan uçucu ve diğer asitlerin tamponlanma kapasitesini göstermektedir (Speece, 1996).

Düşük alkalinite değerlerinde ortamdaki asitler pH değerinde düşmesine sebep olarak biyolojik aktivitenin yavaşlamasına veya tamamen durmasına yol açabilirken, yüksek alkalinite değerleri sistemi düzensiz pH değişimlerine karşı tamponlar. Alkalinitenin temel bileşenleri bikarbonat (HCO_3^-), karbonat (CO_3^{2-}) ve hidroksil (OH^-)'dir. Bu bileşenler mineral kaynaklı olabileceği gibi, organik maddelerin mikrobiyal ayrışmasının bir ürünü olan CO_2 'ten de kaynaklanabilir (Speece, 1996).

Wilcox vd., (1995), tarafından yapılan çalışmada, dengede bir sistem için anaerobik bir reaktörün 1000-3000 mg CaCO_3 /l bikarbonat alkalinitesine ihtiyaç duyduğunu belirlenmiştir.

Bununla beraber van Haandel ve Lettinga (1994) tarafından yapılan çalışmada ise 30 hafta süresince giriş alkalinitesi yaklaşık 220-390 mg/l olan bir HÇYR sorunsuz olarak çalıştırılmıştır. Bu sonuç baz alınarak kurulan sistemde çalıştırılan reaktörler için gerekli alkalinite atıksuda mevcuttur (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Şahit ve enzimli reaktörlerde alkalinitenin zamanla değişimi

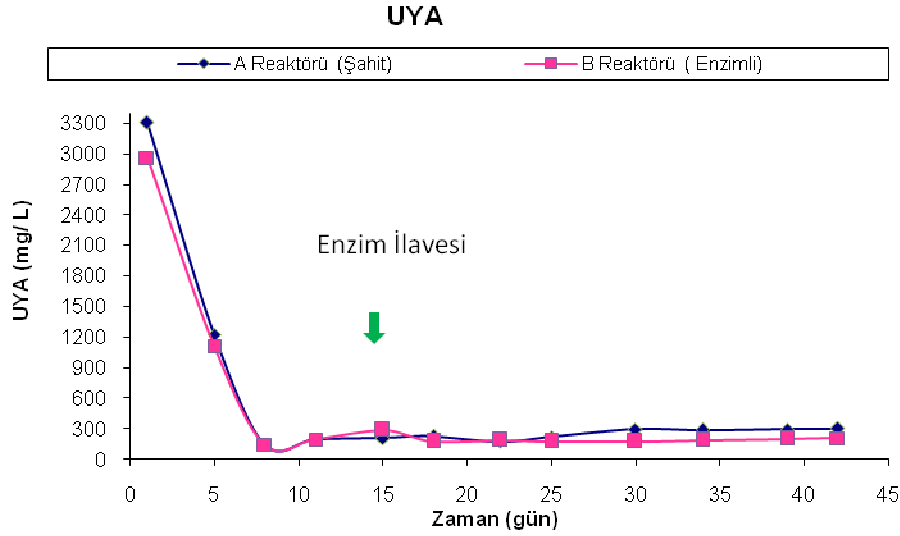
Şekil 6.1.'de görüldüğü gibi enzim ilavesinden sonra B Reaktöründe alkalinite konsantrasyonu bir miktar artmıştır (ortalama 51 mg/l). Bu durumda alkalinite ihtiyacı yüksek olan atıksuların arıtımında enzim ilavesinin olumlu katkı sağlayacağını göstermektedir.

Anaerobik arıtmada ilk evrede, organik maddeler basit organik madde ve asitlere ayrılır. Ardından bu organik madde ve asitlerde asetik asit, CO₂ ve H₂'e dönüşür. Akabinde asetik asidin parçalanması sonucu CH₄ ve CO₂, CO₂ ve H₂'nin sentezi sonucunda CH₄ üretilmiş olur. Sistem dengede iken basit organik maddelerin büyük çoğunluğu direkt olarak asetik asit, CO₂ ve H₂'e dönüşür. Ancak özellikle metan bakterilerinin çalışmasında bir aksama olduğunda basit organik maddeler asetik asit yerine propiyanat ve bütirat gibi daha kompleks uçucu asitlere dönüşür. Oluşan propiyanat ve bütiratın metan bakterileri tarafından metana dönüşüm oranı düşüktür.

Bu yüzden arıtma çıkışında suda metana dönüşemeyen asitler bulunur Dolayısıyla çıkış suyunda uçucu yağ asidi miktarı artar (Speece, 1996).

Yapılan araştırmalar uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının 1000 - 1500 mg/l'yi aştığında önemli problemlerin başladığını göstermektedir (Öztürk, 1999).

Şekil 6.2’de her iki reaktörde uçucu yağ asidi konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 6.2 Şahit ve enzimli reaktörlerde UYA konsantrasyonunun zamanla değişimi

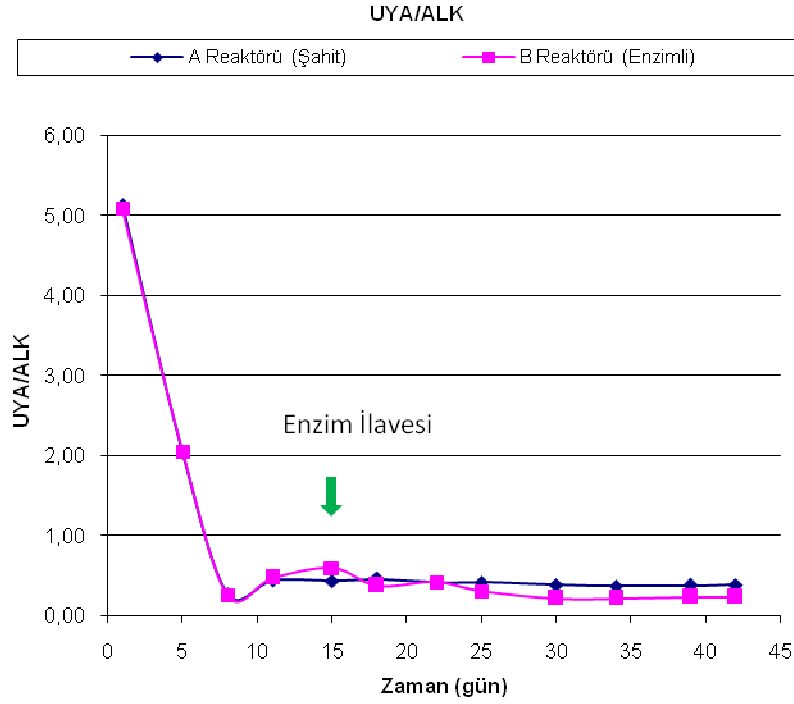
Reaktörlerin glikoz çözeltisinden evsel atıksuya geçişlerini takip eden 1 hafta boyunca UYA konsantrasyonlarının yüksek olduğu Şekil 6.2’de görülmektedir. Bunun sebebinin sistemlerin verilen atıksuya alışma döneminde olduğu düşünülmektedir. Çalışmanın 15. gününde B Reaktörüne enzim eklenmesiyle, B Reaktöründe A Reaktörüne göre daha düşük UYA konsantrasyonu görülmüştür. Bunun sebebi enzim ilavesiyle organik kirleticilerin daha kolay parçalanması olarak açıklanmaktadır.

Uçucu yağ asidi konsantrasyonları genelde düşük alkalinite değerlerinde daha tehlikelidir. Bu yüzden uçucu yağ asidi konsantrasyonları incelenirken, alkalinite değerleri de dikkate alınır ve uçucu yağ asidi/alkalinite oranına göre de yorum yapılır. Uçucu yağ asidi/alkalinite oranının anaerobik arıtmada 0,1’ in altında olması istenirken 0,3’ e kadar sistem verimli çalışabilmektedir. Bu oran 0,3’ den daha yüksek olursa sebeplerinin araştırılması ve problemin çözülmesi gereklidir (Speece, 1996).

Behling vd. (1996) 200 gün sürdürdükleri çalışmalarında ısıtma ilavesi olmaksızın evsel atıksuların HÇYR ile arıtılabilirliğini araştırmışlardır. Bu çalışmalarında uçucu yağ asidi/alkalinite oranının ölçülerek anaerobik sistemlerde daha hassas sonuçlar elde edileceğini ve bu orana bağlı 3 kritik değerlendirme yapılabileceğini belirtmişlerdir.

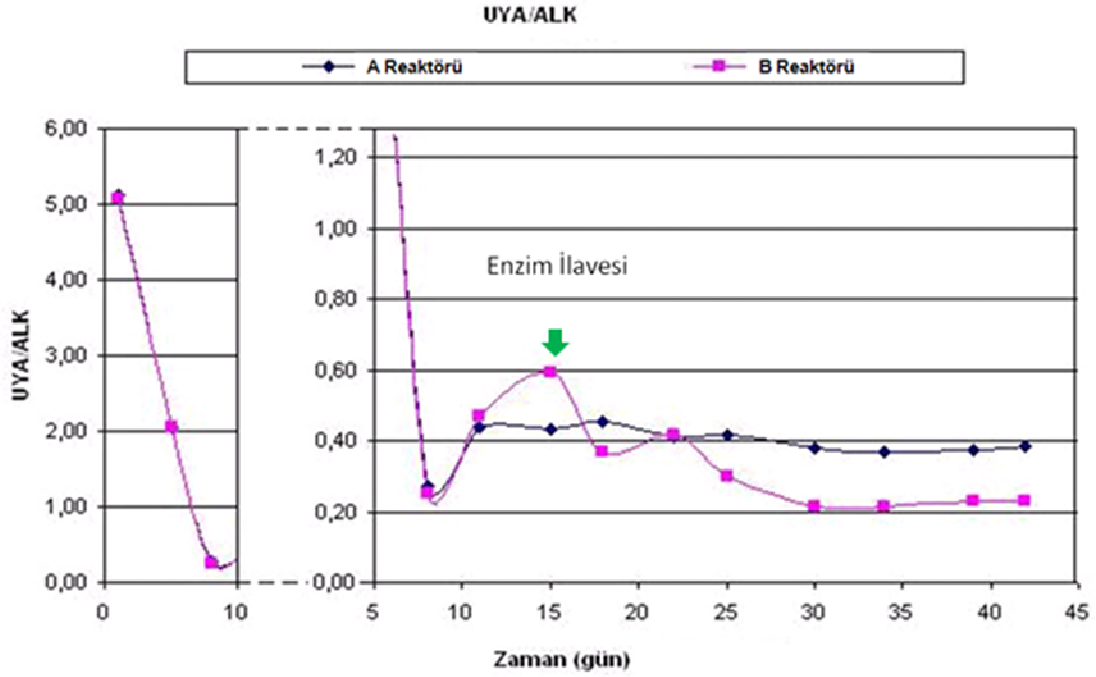
- $<0,4$ pH değerinde önemli değişiklik olmaksızın sistem ufak dalgalanmaları uzaklaştırabilir
- $0,4-0,8$ sistemde istikrarsızlıklar görülebilir
- $0,8$ sistemde önemli dengesizlikler oluşabilir

Literatürde bahsedilen bu orandan yola çıkarak Şekil 6.3'te şahit ve enzimli reaktörlerin zamanla UYA/Alkalinite oranları verilmiştir.



Şekil 6.3 Şahit ve enzimli reaktörlerde UYA/Alkalinite oranının zamanla değişimi

Uçucu yağ asidi konsantrasyonunun zamanla azalmasına paralel olarak uçucu yağ asidi/alkalinite oranı da azalmıştır. Her iki reaktörde izlenen uçucu yağ asidi/alkalinite oranı literatür verileriyle karşılaştırıldığında, reaktörlerin dengeli hale geldiği söylenebilir. B Reaktörüne enzim ilavesinden sonra her iki reaktördeki oran Şekil 6.3'te daha net görülmektedir.

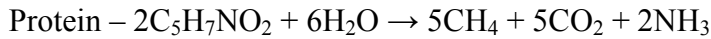


Şekil 6.4 Enzim ilavesinden sonra her iki reaktördeki UYA/Alk oranının zamanla değişimi

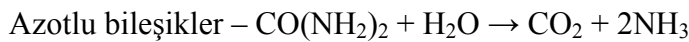
Çalışmanın 15. gününde B reaktörüne enzim katılmasıyla beraber B reaktöründeki UYA/Alk oranı zamanla 0,2 değerine yaklaşırken, A Reaktöründe bu oran 0,4 civarında kalmıştır. Bu değer B Reaktörünün daha dengeli bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

6.4 Amonyak Azotu (NH₃-N)

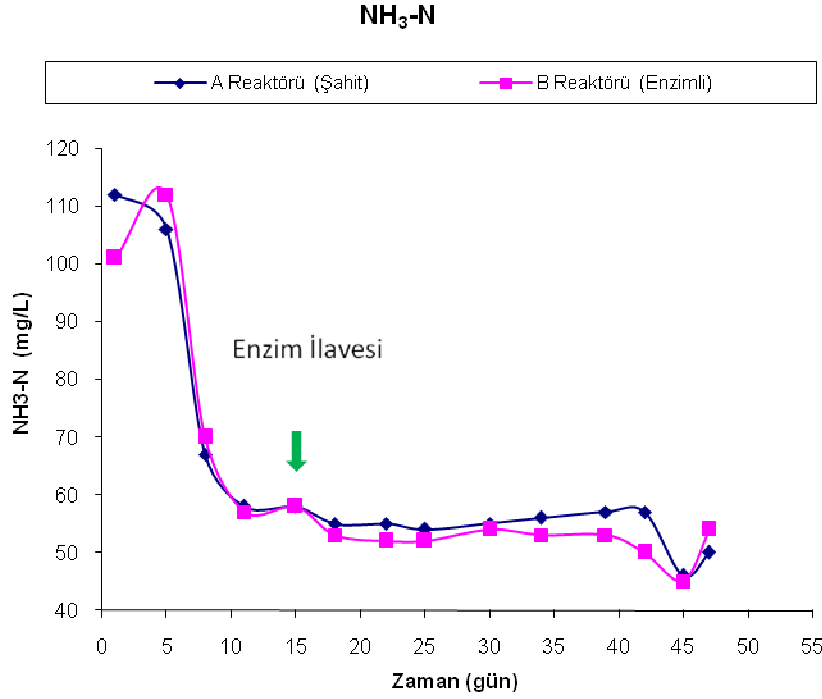
Amonyak, evsel atıksuların havasız arıtımı sırasında genellikle proteinlerin ve azotlu bileşiklerin ayrışması sonucu ortaya çıkar. Atıksuların ayrışması sırasında çıkış suyunda ortaya çıkan azotun büyük bir kısmını amonyak azotu oluşturmaktadır (Denklem 6.1).



6-1



Şekil 6.5'te kontrol ve enzimli reaktörlerdeki amonyak azotu konsantrasyonu gösterilmektedir. Çalışma boyunca her iki sisteme beslenen evsel atıksuyun amonyak azotu konsantrasyonu yaklaşık 50±6 mg/l'dir.



Şekil 6.5 Şahit ve enzimli reaktörlerde NH₃-N konsantrasyonunun zamanla değişimi

Şekil 6.5'ten görüldüğü üzere çalışmanın ilk birkaç günü alınan evsel atıksuyun amonyak konsantrasyonu epey yüksektir. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nden alınan kanalizasyon suyunun karakteri, nüfus yoğunluğu, laboratuarlardaki çalışma potansiyeli ve su tüketimi ile doğrudan ilişkilidir. Bahar yarıyılın son günlerine rastlayan ve çalışmanın ilk günleriyle kesişen zaman diliminde amonyak azotu konsantrasyonu oldukça yüksektir. Bahar yarıyılıının bitmesi, tatil nedeniyle, ve laboratuvar çalışmalarının azalmasıyla amonyak azotu konsantrasyonu zamanla azalmış ve yaz dönemi boyunca yükselmemiştir. Atıksu karakterindeki bu değişim reaktör performanslarını da etkilemiştir.

B reaktörüne enzim ilavesiyle birlikte her iki reaktör arasındaki NH₃-N konsantrasyonları arasında belirgin bir fark oluşmuştur. Organik maddelerin parçalanmasında yardımcı olan enzim sayesinde B Reaktörünün çıkış konsantrasyonu daha düşük olmuştur. A Reaktörünün çıkış suyunda amonyak konsantrasyonu ortalama 56 mg/l iken B Reaktöründe 52 mg/l'dir.

Şekil 6.5'ten görüldüğü B Reaktöründeki amonyak konsantrasyonunun artmaya başlamasıyla enzimin sistemde aktif kalma süresinin yaklaşık 1 ay olduğu (45.gün) bulunmuştur.

Bu sürenin aşılmasıyla B Reaktöründe amonyak konsantrasyonu giderek artarak 50.günde A Reaktöründen daha yüksek bir değere ulaşmıştır .(A Reaktörü ortalama 48 mg/l, B Reaktörü ortalama 50 mg/l). Kullanılan Mirocat ECL enziminin böyle bir arıtma sistemine her ay yeniden ilavesiyle arıtma veriminde süreklilik sağlanabilir.

6.5 KOİ ve ÇKOİ Giderim Verimleri

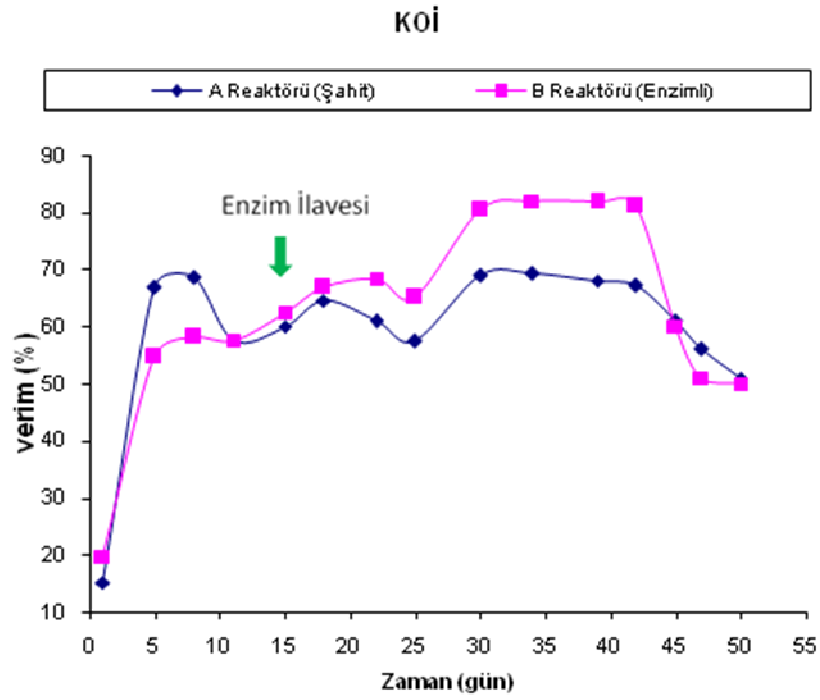
Evsel atıksuyun sistemlere verilmesiyle beraber KOİ giderim verimlerinde adım adım artış görülmüştür. Reaktörlere evsel atıksu verilmeye başlamasıyla ÇKOİ giderim veriminin her iki sistemde KOİ giderim verimine göre daha yüksek olmasının nedeni atıksuda bulunan partiküler maddelerdir.

Çalışmanın ilk 14 günü boyunca A Reaktörünün KOİ giderim verimi ortalama 54 ± 22 , B Reaktörünün ise ortalama 51 ± 17 'dir. Bu değerler ile B Reaktörünün ortalama KOİ giderim veriminin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle ilave arıtma verimi için enzim eklenecek reaktör B Reaktörü olarak seçilmiştir.

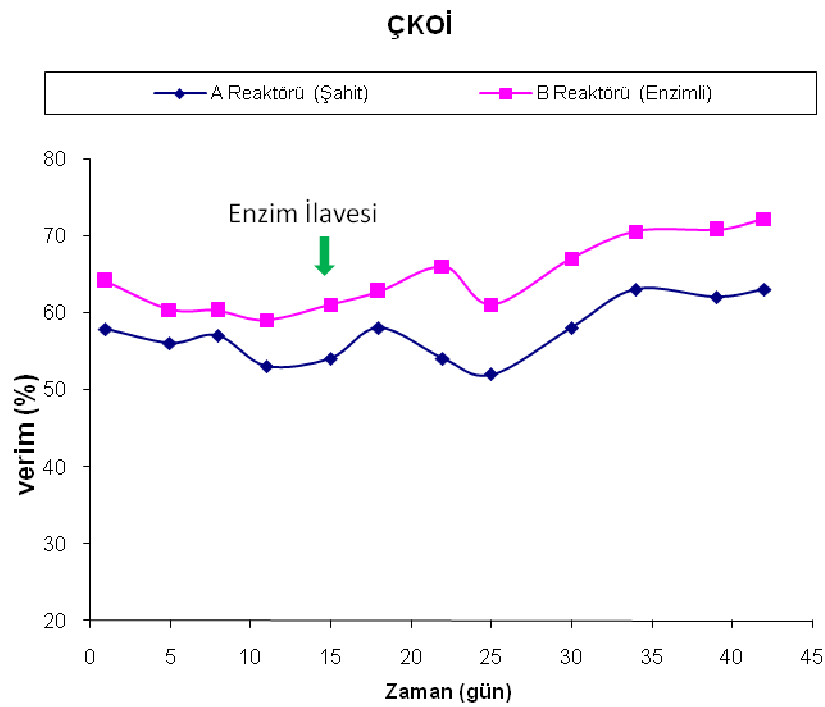
Çalışmanın 15. gününde B Reaktörüne enzim ilave edilmesiyle başlayan süreçte B Reaktörünün hem KOİ hem de ÇKOİ verimleri A Reaktörüne göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma boyunca A ve B Reaktörlerinde ölçülen KOİ giderim verimleri sırasıyla %15-69 (ortalama %65) ve %20-82 (ortalama %75)'dir. A ve B Reaktörlerinde ölçülen ÇKOİ verimleri ise sırasıyla %52-63 (ortalama %59) ve %59-72 (ortalama %67)'dir.

4 gün sonra her iki reaktörün katı-sıvı-gaz ayırıcı kısmında biriken granülleri (anaerobik çamur) almak için sistemlerin tepesi açılmıştır. Biriken çamur alındıktan sonra sistemler tekrar kapatılmış ve giriş yapılarından, reaktörlerin içersinde hiç hava kalmasın diye azot gazı geçirilmiştir. Geçirilen azot gazının sistemdeki KOİ ve ÇKOİ giderim verimlerine olumsuz etkileri Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de görülmektedir.

Yaklaşık on gün boyunca dengesiz bir dönem geçiren sistemlerin verimi; çalışmanın 30. gününde yeniden düzelmeye ve artmaya başlamıştır.



Şekil 6.6 Şahit ve enzimli reaktörlerde KOİ giderim veriminin zamanla değişimi



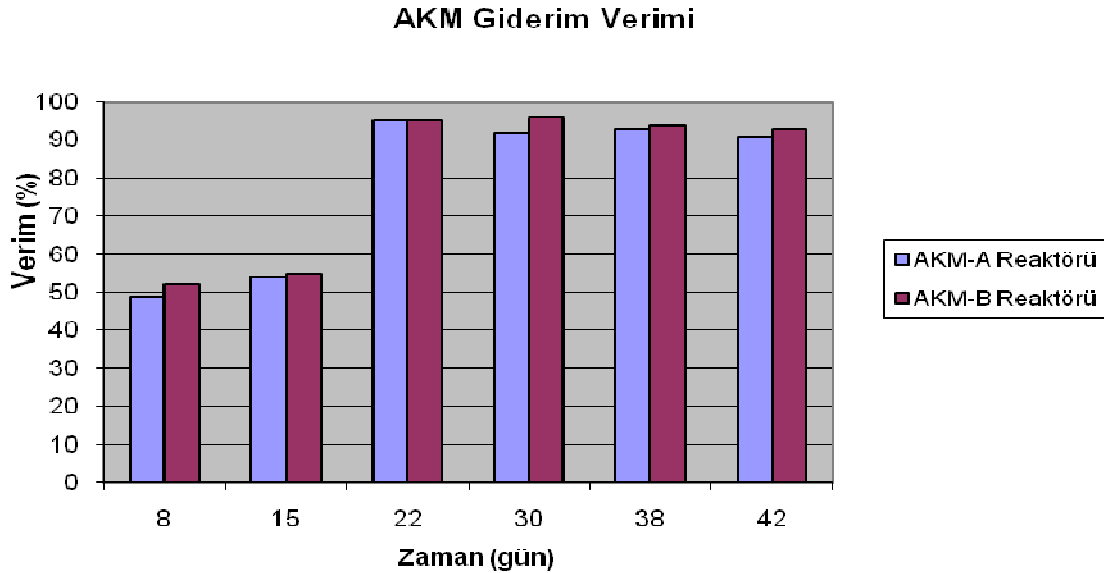
Şekil 6.7 Şahit ve enzimli reaktörlerde ÇKOİ giderim veriminin zamanla değişimi

Şekil 6.6'ten görüldüğü gibi görüldüğü B Reaktöründeki KOİ giderim veriminin azalmaya başlamasıyla enzimin sistemde aktif kalma süresinin yaklaşık 1 ay olduğu (45.gün) bulunmuştur. Bu sürenin aşılmasıyla B Reaktöründe KOİ giderim verimi zamanla azalarak 50.günde A Reaktörü ile eşitlenmiştir (A reaktörü için KOİ verimi 56 ± 5 ve B Reaktörü için KOİ verimi 54 ± 6). Kullanılan Mirocat ECL enziminin böyle bir arıtma sistemine her ay yeniden ilavesiyle arıtma veriminde süreklilik sağlanabilir.

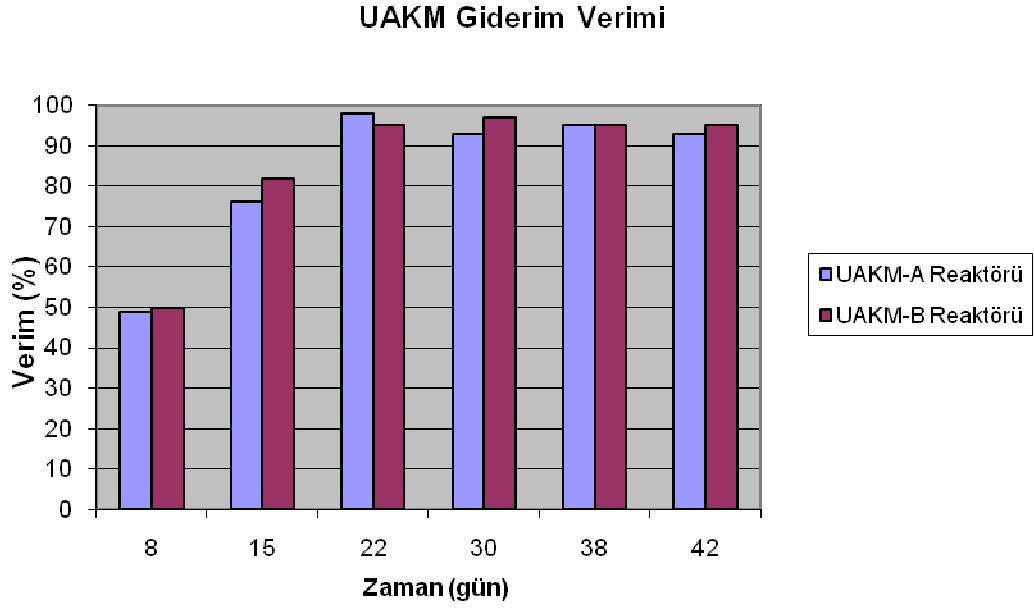
6.6 AKM ve UAKM Giderim Verimleri

Sisteme beslenen evsel atıksu içerisindeki katı madde konsantrasyonu bir hayli yüksektir (AKM konsantrasyonu 2100 ± 700 mg/l ve UAKM konsantrasyonu 900 ± 200). Bu rağmen her iki reaktör atıksuya adapte olduktan sonra hem AKM hem de UAKM giderim verimlerinde %90'ın üstünde başarı sağlamıştır. Çalışmanın 15.gününde enzim verilen B Reaktörü'nün A Reaktörüne göre zamanla AKM ve UAKM giderim veriminde daha başarılı olduğu görülmektedir (Şekil 6.8 ve Şekil 6.9). A ve B Reaktörlerinin ortalama AKM ve UAKM giderim verimleri sırasıyla “ 92 ± 1 ve 94 ± 1 ” ve “ 94 ± 2 ve 96 ± 1 ”dır.

Bu değerler enzim ilavesin AKM ve UAKM gideriminde de olumlu etkide bulunduğu (yaklaşık %2) görülmüştür.



Şekil 6.8 Şahit ve enzimli reaktörlerde AKM giderim veriminin zamanla değişimi



Şekil 6.9 Şahit ve enzimli reaktörlerde UAKM giderim veriminin zamanla değişimi

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 24 saat hidrolik bekletme süresine ve 6 gKOİ/ m³-gün organik yükleme hızına sahip özdeş reaktörler eşit şartlarda çalıştırılmıştır. Sistemlere evsel atıksu verilmesinden 15 gün sonra B reaktörüne enzim verilmiş olup, A Reaktörü (Şahit) ve B Reaktörü (Enzim ilaveli) çıkış suyu numunelerinde izlenen pH, Toplam Alkalinite, KOİ, ÇKOİ, Uçucu Yağ asidi, AKM, UAKM ve NH₃-N parametrelerin değişimleri aşağıda verilmiştir.

- B reaktörüne verilen enzim her iki reaktör arasında pH ve sıcaklık parametreleri açısından belirgin bir farklılık yaratmamıştır.
- Enzim ilavesinden sonra B Reaktöründe alkalinite konsantrasyonu A Reaktörüne göre bir miktar artmıştır (ortalama 51 mg/l). Bu durum alkalinite ihtiyacı yüksek olan atıksuların arıtımında enzim ilavesinin olumlu katkı sağlayacağını göstermektedir.
- Çalışmanın 15. gününde B Reaktörüne enzim eklenmesi, B Reaktöründe A Reaktörüne göre daha düşük UYA konsantrasyonu bulunmuştur. Bunun sebebi enzim ilavesiyle organik kirleticilerin daha kolay parçalanması olarak açıklanmaktadır. Uçucu yağ asidi konsantrasyonunun zamanla azalmasına paralel olarak uçucu yağ asidi/alkalinite oranında azalmıştır.
- Çalışmanın 15.gününde verilen enzim ile B Reaktörünün A Reaktörüne göre zamanla AKM ve UAKM giderim veriminde daha başarılı olduğu görülmektedir. A ve B Reaktörlerinin ortalama AKM ve UAKM giderim verimleri sırasıyla “ %92±1 ve %94±1” ve “ %94±2 ve %96±1” ‘dır. Bu değerler ile enzim ilavesinin AKM ve UAKM gideriminde de olumlu etkide bulunduğu (yaklaşık %2) sonucuna varılmıştır.
- B reaktörüne enzim ilavesiyle birlikte her iki reaktör arasındaki NH₃-N konsantrasyonları açısından belirgin bir fark oluşmuştur. Organik maddelerin parçalanmasında yardımcı olan enzim sayesinde B Reaktörünün çıkış suyunda amonyak konsantrasyonu daha düşük bulunmuştur. Sistemde enzimin aktif kalma süresinin tamamlanmasıyla, yaklaşık 1 ay, B Reaktöründe amonyak konsantrasyonunda bir artış gözlenmiştir. İlerleyen günlerde ise (50.günde) B Reaktörünün amonyak konsantrasyonu A Reaktöründen daha yüksek bir değere ulaşmıştır (A Reaktörü ortalama 48 mg/l, B Reaktörü ortalama 50 mg/l). Kullanılan Microcat ECL enziminin böyle bir arıtma sistemine her ay yeniden ilavesiyle arıtma veriminde süreklilik sağlanabilir.

- Çalışmanın ilk 14 günü boyunca A Reaktörünün KOİ giderim verimi ortalama 54 ± 22 , B Reaktörünün ise ortalama 51 ± 17 'dir. Bu değerler ile B Reaktörünün ortalama KOİ giderim veriminin daha düşük olduğu görülmektedir.

Bu nedenle ilave arıtma verimi için enzim eklenecek reaktör B Reaktörü seçilmiştir. Enzim ilavesinden sonra B Reaktörünün hem KOİ hem de ÇKOİ giderim verimlerinin A Reaktörüne göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Enzim ilavesini takip eden 1 ay boyunca A ve B Reaktörlerinde ölçülen KOİ giderim verimleri sırasıyla $15-69$ (ortalama 65 ± 5) ve $20-82$ (ortalama 75 ± 8)'dir. A ve B Reaktörlerinde ölçülen ÇKOİ verimleri ise sırasıyla $52-63$ (ortalama 59 ± 4) ve $59-72$ (ortalama 67 ± 4)'dir. Sonuçlardan görüldüğü gibi enzimin ilaveli sistemde hem KOİ hem de ÇKOİ verimi daha yüksektir. Enzimin sistemde aktif kalma süresinin bitmesiyle, B Reaktöründe KOİ verimi zamanla azalarak 50.günde A Reaktörü ile eşitlenmiştir (A reaktörü için KOİ verimi 56 ± 5 ve B Reaktörü için KOİ verimi 54 ± 6). Kullanılan Microcat ECL enzimin böyle bir arıtma sistemine her ay yeniden ilavesiyle arıtma veriminde süreklilik sağlanabilir.

Reaktörler	KOİ giderim verimi (%)		ÇKOİ giderim verimi (%)	
	A Reaktörü (Şahit)	B Reaktörü (Enzimli)	A Reaktörü (Şahit)	B Reaktörü (Enzimli)
Enzim ilave edilmeden önce	54 ± 22	51 ± 17	56 ± 2	54 ± 2
Enzim aktivasyonu boyunca	65 ± 5	75 ± 8	59 ± 4	67 ± 4
Aktivasyon sonu	56 ± 5	54 ± 6	-	-

- Enzim ilavesi ile KOİ gideriminde artış doğal olarak gaz gideriminde de arttırmaktadır. Çalışma sonucunda giderilen KOİ yüzdelerinden hareketle, teorik olarak A ve B Reaktörleri arasında oluşacak gaz miktarları arasındaki fark $0,042 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. 1 m^3 biyogazın $1,7 \text{ kWh}$ elektrik enerjisine denk olduğu kabulüne göre (Demirer, 2006), enzim eklenen reaktörde günlük oluşan fazla biyogaz miktarından $0,0714 \text{ kWh}$ enerji ilave olarak kazanılacaktır. Bu ilave kazanç Ağustos 2009 AYEDAŞ birim fiyatlarına göre $0,30 \text{ TL}/\text{m}^3\text{gün}$ 'dür.

Öte yandan alınan ticari enzimin birim m^3 atıksu başına maliyeti 8 TL olduğu da bilinmektedir. Enzimin sistemde 1 ay boyunca aktif kaldığı göz önüne alındığında, enzimin günlük maliyeti 0,27 TL/ m^3 gün olarak bulunur. Tüm bu değerleri aşağıda özetlersek:

Enzimin sistemde 1 ay aktif kalması kabulü ile;
Enzim ilaveli reaktöre katılan enzimin maliyeti 0,27 TL/ m^3 gün
Reaktörün meydana getirdiği biyogazın değeri 0,30 TL/ m^3 gün
Kazanılan net kar 0,03TL/ m^3 gün

(Tezin yapıldığı tarihte Merkez Bankası kurlarına göre ₺=2,3218 TL, \$=1,4614 TL, €=2,1499 TL)

- Tüm bu değerlendirmelerden enzimin sistemde yaklaşık 1 ay aktif kaldığı sonucu çıkarılmaktadır. Kullanılan Microcat ECL enzimin böyle bir arıtma sistemine her ay yeniden ilavesiyle arıtma veriminde süreklilik sağlanabilir.
- Bu çalışmada laboratuvar koşullarının yetersizliği yüzünden kullanılan enzim ticari bir enzim olup, dışarıdan temin edilmiştir. Bunun yerine kullanılacak enzim, gübre veya benzeri doğal materyallerden katı faz fermentasyonu ile saflaştırılarak daha ucuza elde edilebilir.
- Sonuç olarak;

Enzim ilavesi evsel atıksuların anaerobik arıtmada verim arttırıcı ve maliyeti düşürücü bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bundan sonraki çalışmalar farklı enzim türleri ve farklı atıksularla denenebileceği gibi, doğal maddelerden saflaştırma yoluyla enzim üretilerek çok daha ekonomik bir şekilde temin edilebilir.

KAYNAKLAR

- Aiyuk, S., (2004), Amoako, J., Raskin, L., Van Haandel, A. ve Verstraete, W., "Removal Of Carbon And Nutrients From Domestic Wastewater Using A Low Investment, Integrated Treatment Concept", *Water Research*, 38: 3031-3042.
- Al-Jamal, W. ve Mahmoud, N., (2008), "Community Onsite Treatment Of Cold Strong Sewage İn A UASB-Septic Tank", *Bioresource Technology*, 100: 1061-1068.
- Al-Salem, S.S., (1987), Evaluation of the Al Samra Waste Stabilization Pond System and its Suitability For Unrestricted Irrigation, Land and Water Development Division, Roma.
- Al-Shayah, M. ve Mahmoud, N., (2008), "Start-up Of An UASB-Septic Tank For Community On-Site Treament Of Strong Domestic Swega", *Bioresource Techology*, 99: 7758-7766.
- Alvarez, J. A., Ruiz, I., Gomez, M., Presas, J. ve Soto, M., (2006), "Start-Up Alternatives And Performance Of An UASB Pilot Plant Treating Diluted Municipal Wastewater At Low Temperature", *Bioresource Technology*, 97: 1640-1649.
- Álvarez, J. A., Armstrong, E., Gomez, M. ve Soto, M., (2008), "Anaerobic treatment of low-strength municipal wastewater by a two-stage pilot plant under psychrophilic conditions", *Bioresource Technoloyg*, 99: 7051-7062.
- Altınışık, M., (2009), "Adütf Biyokimya Ad", İstanbul.
- Behling, E., Diaz, A., Colina, G., Herrera, M., Gutierrez, E., Chacin E., Fernandez, N. ve Forster, C. F., (1996 "Domestic Wastewater Treatment Using A UASB Reactor", *Bioresource Technology*, 61: 239-245).
- Cammarota, M.C., Teixeira, G.A., Freire, D.M.G., (2001), "Enzymatic prehydrolysis and anaerobic degradation of wastewaters with high oil contents", *Biotechnol. Lett.*, 23; 1591–1595.
- Debik, E., Manav, N. ve Coşkun, T., (2008), "Biyolojik Temel İşlemler Ders Notları", Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Demirer, N. G., (2006), "Anaerobik Arıtımın Temelleri ve Anaerobik Arıtım Proses Konfigürasyonları", Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., Şeker Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Gömeç, Ç. Y. ve Eroğlu, V., (2006), "İlman Bölgelerde Düşük Kirlilik Yüküne Sahip Atıksuların Havasız Arıtımı", *İTÜ Dergisi*, 2: 142-150.
- Halalsheh, M., Sawajneh, Z., Zu'bi, M., Zeeman, G., Lier, J., Fayyad, M. ve Lettinga, G., (2004), "Treatment Of Strong Domestic Sewage İn A 96 m³ UASB Reactor Operated At Ambient Temperatures: Two-Stage Versus Single-Stage Reactor", *Bioresource Technology*, 96: 577-585.
- Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, C. M. ve Marias, G., (1995), "Activated Sludge Model No:2", *Iawq Sci And Tech Report No:3*, Londra, İngiltere.
- Henze, M., Harremoes, P., Jansen, J. ve Arvin, E., (1997), *Wastewater Treatment Biological And Chemical Processes*, Second Edition, Springer-Varlag, Berlin, Heidelberg.

- Jung, F., Cammarota, M.C., Freire, D.M.G., (2002), "Impact of enzymatic pre-hydrolysis on batch activated sludge systems dealing with oily wastewaters", *Biotechnol. Lett.* 24; 1797–1802
- Leal, M.C.M.R., Cammarota, M.C.M., Freire, D.M.G., Sant'Anna Jr., G.L., (2002). "Hydrolytic enzymes as coadjuvants in the anaerobic treatment of dairy wastewaters", *Braz. J. Chem. Eng.*, 19:175–180.
- Mahmoud, N., Zeeman, G., Gijzen, H. ve Lettinga, G., (2004), "Anaerobic Sewage Treatment In A One-Stage UASB Reactor And A Combined UASB-Digester System", *Water Research*, 38: 2348-2358.
- Mahmoud, N., (2008), "High Strength Sewage Treatment In A UASB Reactor And An Integrated UASB-Digester System", *Bioresource Technology*, 99: 7531-7538.
- Metcalf ve Eddy, (2003), *Wastewater Engineering Treatment And Reuse*.
- Nashashibi, M. ve Van Duji, L.A., (1995), "Wastewater Characteristics In Palestine", *Wat. Sci. Tech.*, 32: 65-75.
- Orhon, D., Ates, E., Sozen, S. ve Cokgor, E.U., (1997), "Characterization And Cod Fractionation Of Domestic Wastewaters", *Environmental Pollution*, 95: 191-204.
- Öztürk, İ., (1999), *Anaerobik Biyoteknoloji Ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Öztürk, İ., Timur, H. ve Koşkan, U., (2005), *Atıksu Arıtımının Esasları*, Çevre Ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Öztürk, İ., (2007), *Anaerobik Arıtma Ve Uygulamaları Uygulamaları*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Qasim, S.R., (1999), *Wastewater Treatment Plants Planning, Design, And Operation*, Crc Press Llc.
- Sabry, T., (2008), "Application Of The UASB Inoculated With Flocculent And Granular Sludge In Treating Sewage At Different Hydraulic Shock Loads", *Bioresource Technology*, 99: 4073-4077.
- Samsunlu, A., (2006), *Atık Suların Arıtılması*, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Speece, R. E., (1996), *Anaerobic Biotechnology For Industrial Wastewaters*, Vanderbilt University, UAS.
- Singh, K. P., ve Viraraghavan, T., (1998), "Start-Up And Operation Of UASB Reactors At 20°C For Municipal Wastewater Treatment", *Journal Of Fermentation And Bioengineering*, 85: 609-614.
- Tönük, G. U., (2004), "Anaerobic Treatment Of Domestic Wastewaters In Upflow Sludge Blanket Reactors", *G. Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 17: 141-154.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (2005), "Belediye Atık Su Sonuçları 2003", *Haber Bülten*, Sayı: 103, 29 Temmuz 2005.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (2008), "Belediye Atık Su İstatistikleri 2006", *Haber Bülten*, Sayı: 73, 23 Temmuz 2008.

Vallada~o, A.B.G., (2005), "Pre'-hidro' lise enzima'tica aplicada ao tratamento anaero'bio de efluente de abatedouro de aves", Dissertac,a~o de Mestrado, Universidade federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Van Haandel ve A.C., Lettinga, G., (1994), Anaerobic Swega Treament: A Practical Guide For Regions With A Hot Climate, John Wiley And Sons Ltd., Chichester, Uk.

Yıldız, E., (2009), "Enzim İlavesinin Koi Giderimine Katkısının Araştırılması", YTÜ.

İNTERNET KAYNAKLARI

Biokim Arıtma-İnşaat, (2007), <http://www.biokim-aritma.com/>

Dürüsel İnşaat-Aritma, (2008), <http://www.duruselinsaataritma.com/>

Genetikbilimi, (2000), <http://www.genetikbilimi.com/>

MSXLAB, (2009), <http://www.msxlabs.org/>

Wastewater Engineering Group Company Incorporated, (2007),
<http://www.wastewaterengineering.com/>

Wikipedia, (2009), http://tr.wikipedia.org/wiki/Ana_Sayfa

EKLER

Ek-I Ağustos 2008-Mayıs 2009 Dönemi Denenen Sistemler

Yapılmış olan bu tez 107G252 nolu TÜBİTAK Kamag projesi kapsamında küçük yerleşim yerleri evsel atıksuları arıtımı için önerilecek bir sistem olarak geliştirilmiş ancak YTÜ İnşaat Fakültesi'nin Eylül 2008 tarihinde Davutpaşa'ya taşınması aşamasında uzun süre devreye alınamamıştır. Projede anaerobik arıtım sonucunda çıkış suları Yüzeysel Akışlı Doğal Arıtım sistemine aktarılarak burada son kademe arıtım gerçekleşmesi öngörülmektedir. Ancak projenin yapılacağı bölgede uygun olmayan iklim koşulları ve yetişmiş eleman azlığı gibi nedenlerden ötürü çalışmanın UASB ayağı iptal edilmiştir. Bu süreçte (taşınma ve iptal) yapılmış olan devreye alma çalışmaları ve elde edilen giderimler EK 1 olarak teze ilave edilmiştir.

Reaktörün Devreye Alınış Çalışmaları

Reaktörün Boyutlandırılması

Laboratuar ölçekli reaktörün toplam yüksekliği 80 cm'dir. Sıvı hacmi için 68 cm, geri kalan kısımda gaz hacmi için ayrılmıştır. Yaklaşık 12,5 cm'de bir numune alma muslukları yerleştirilmiştir. Numune muslukları 4 adettir. Reaktörün malzemesi pleksiglas'dır. Reaktörün çapı 13 cm'dir.

Reaktörün Sızdırmazlık ve Gaz Geçirim Testleri

Reaktörün pompa, atıksu giriş ve çıkış hatlarının bağlantıları yapılmıştır. Atıksu giriş-çıkış hatları ile granül numunesi alınacak 1-2-3-4 nolu musluklara uygun çaplarda boru bağlantıları yapılmıştır. Gaz çıkış hattı, su kapağı ve gaz sayacı arasındaki bağlantı yapılmıştır. Su kapağı ve gaz sayacı emniyet açısından ahşap üniteye sabitlenmiştir. Reaktörün en üstündeki katı-sıvı-gaz ayırıcı kısmı parafilm ile kaplanmıştır.

Reaktörün içi tamamen musluk suyu ile doldurulup, suyun birkaç kez savaklanması gözlemlendikten sonra reaktörün giriş ve çıkış yapıları kapatılıp, reaktör tamamen su ile doldurulmuştur. Bu şekilde 1 hafta bırakılan reaktörün herhangi bir sızdırma yapmadığı görülmüştür. Daha sonra gaz çıkış vanasına bir balon takılıp, 4. musluktan hava verilerek balonun şişip şişmediği gözlenmiştir. Balonun şişmesi ile iyi bir sıvı-gaz ayrımının gerçekleştiği anlaşılmıştır.

Granüler Çamurun Konulması

Reaktörün tabanına yuvarlak kesit tel ızgara konulmuş, üstünü örtecek kadar 1-2 cm çapında çakıl taşları döşenmiştir. Granüler çamur, reaktörün tepesi sökülerek konulmuştur. Konulan ızgara ve çakıl taşları ile granüler çamurun kaçıışı engellenmiştir. Granüler çamurun üzerine oda sıcaklığında aşağıdaki şekilde hazırlanmış süt tozu konmuştur.

Bu şekilde 1 gün bekletilmiştir. Ertesi gün reaktörün tümü süt tozu ile doldurulmuş, birkaç kez savaklanma görüldükten sonra reaktörün vanaları yine kapatılarak bu şekilde 1 gün daha bekletilmiştir.

Sentetik Atıksu

11.08.08 tarihinde KOİ'si 1000 mg/l olarak hazırlanmış süt tozu, günde 3 litre olacak şekilde beslenmeye başlanmıştır.

1000 mg/l KOİ konsantrasyonuna sahip süt tozu hazırlamak için;

- 0,75 g süt tozu
- 0,45 g NaHCO₃
- 0,1 ml iz element 1 litre musluk suyunda çözülür.

İz element solüsyonunun hazırlanışı da aşağıdaki Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. İz Elementin Solüsyonunun Hazırlanışı

Bileşikler	Konsantrasyon (g/l)
FeCl ₂ 4H ₂ O	40
CoCl ₂ 6H ₂ O	2
EDTA	1
MnCl ₂ 4H ₂ O	0.5
Resazurin	0.2
NiCl ₂ 6H ₂ O	0.142
Na ₂ SeO ₃	0.123
6Mo ₇ AlCl ₃ 6H ₂ O	0.09
H ₃ BO ₃	0.05
ZnCl ₂	0.05
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0.05
HCl (%37)	1mL/L

Haftalık Analiz Programının Hazırlanması

Çalışma boyunca sistemi izlemek ve kararlı denge koşullarını kontrol etmek için günlük ve periyodik aralıklarla rutin analizler yürütülmüştür. Reaktöre verilen süt tozunun ve çıkan atıksuyun değerlerinin haftalık ölçülmesi, verimin değerlendirilmesi için yapılacak deneyler ve zamanları belirlenmiştir. Analizler standartlara “Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater” uygun şekilde yapılmıştır (APHA, 19.Baskı, 1995). Bu şekilde sistemli çalışılarak alıştırma devresinde reaktörün çalışması ve mikroorganizmaların gelişimi ayrıntılı bir şekilde izlenecektir.

Çizelge 2. Rutin Deney Programı

Sıcaklık	Her gün
pH	Her gün
KOİ	Haftada 2 kez
Çözünmüş KOİ	Haftada 2 kez
AKM-UAKM	Haftada 1 kez
TK-UK	Haftada 1 kez
UYA	2 haftada 1
Alkalinite	Haftada 2 kez
Gaz Bileşenleri	Haftada 1 kez
Biyogaz Üretimi	Her gün

Reaktörün Yerinin Seçimi

Yıldız Kampüs

Temmuz 2008 tarihinde yukarı akışlı çamur yataklı reaktör, duvara 2 adet kelepçe ile sabitleştirilerek kurulmuştur. Kelepçenin reaktörü sardığı kısım parafilm ile sarılarak, reaktörün zarar görmesi engellenmiştir. Reaktörün yanına kurulan ahşap üniteye pompa, su kapağı ve gaz sayacı konmuştur. Giren atıksu ve çıkan atıksu için 5'er litrelik iki bidon yerleştirilmiştir.



Ahşap ünitadaki su kapaını, gaz sayacın görünüşü



Laboratuar ölçekli yukarı akışlı çamur yataklı reaktör (Yıldız Kampüs)

Davutpaşa Kampüs

7 Ağustos 2008 tarihinden itibaren sentetik atıksu ile beslenen anaerobik reaktör, İnşaat Fakültesinin Yıldız Kampüsten Davutpaşa Kampüse taşınması sebebiyle 5 Eylül 2008 ve 17 Kasım 2008 tarihleri arasında kapatılmıştır. 17 Kasım itibariyle sistem günde 3 litre sürekli beslenmeye başlanmıştır.

Şekilden de görüldüğü gibi reaktör demir ayaklar yaptırılarak laboratuar tezgâhının üstüne konmuş gerekli tüm bağlantılar (besleme pompası, gaz çıkışı vs) tamamlanarak hazır bir durumda bekletilmiştir.



HÇYR'ün görünüşü (YTÜ-Davutpaşa Kampüsü)

Taşınma süreci tamamlanıp laboratuvarların önemli eksiklikleri giderildikten sonra 17 Kasım itibariyle sistem 24 saatlik Hidrolik Bekletme Süresi(HBS) değerinde yeniden devreye alınmıştır. Reaktöre kapalı kaldığı dönem boyunca herhangi bir besleme yapılmamıştır. Besleme daha evvel de yapıldığı gibi süt tozu çözeltisi ile gerçekleştirilmiştir.

Şubat 2009 tarihi itibariyle anaerobik reaktöre evsel atıksu verilmeye başlanmıştır. İlk olarak % 50 evsel atıksu ve % 50 sentetik atıksu karışımı uygulanmıştır. Evsel atıksu Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisi'nden temin edilmiştir. Sistemdeki gaz çıkışı ve izlenen diğer parametrelerin uygun değerlerde olduğuna karar verildikten sonra sistem tamamen evsel atıksu ile beslenmeye başlanmıştır.

Reaktör arıtmayı sağlayan anaerobik mikroorganizmaların güneş ışığından etkilenmemesi için reaktörün etrafı alüminyum folyo ile sarılmıştır.



Alüminyum folyo ile sarılan HÇYR' nin son hali

Evsel atıksuyun KOI değerinin süt tozu ile hazırlanan sentetik besleme suyundan daha düşük olması nedeni ile hidrolik bekletme süresi 40 saate indirilmiştir. Besleme suyu olarak kullanılan evsel atıksuya ait parametreler Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Ataköy evsel biyolojik arıtma tesisi giriş suyu analiz sonuçları

Parametre	Ortalama. Değer
pH	7,59
KOI	372 mg/l
(Çözünmüş)KOI	236 mg/l
BOI ₅	220 mg/l
Alkalinite	403 mg/l
AKM	187 mg/l
UAKM	168 mg/l
Amonyak Azotu	16 mg/l
TKN	45 mg/l

Çalışma boyunca sistemin hidrolik bekleme süresi aşamalı olarak 80 saatten 20 saatte düşürülürken, organik yükleme hızı da 1,2 kg KOİ/m³gün'den 11,7 kg KOİ/m³gün'e aşamalı olarak çıkartılmıştır. Aylara göre işletme koşulları ve analiz sonuçları Çizelge 4 ve Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge.4 Aylara göre işletme koşulları

Zaman	Debi (l/gün)	Giriş KOİ (mg/l)	HBS(saat)	OYH (kg KOİ/m ³ gün)
Şubat 2009	3	1200	80	1,2
Şubat2009	6	600	40	0,6
Mart 2009	6	257	40	0,6
Mart 2009	12	286	20	1,3
Nisan 2009	12	2190	20	11,7
Mayıs 2009	12	2470	20	11,7

Çizelge 5 Sistemin Şubat-Mayıs 2009 Dönemi Analiz Sonuçları

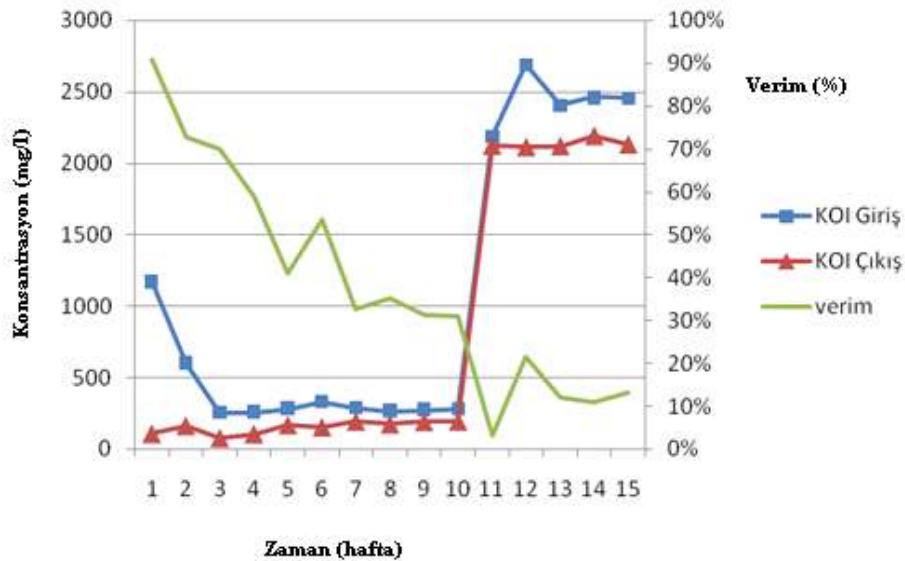
Zaman	KOI			Amonyak		AKM			UAKM			VFA			VFA/Alkz	
	Giriş	Çıkış	Verim	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	verim	Giriş	Çıkış	verim	Giriş	Çıkış	vfa verim	Giriş	Çıkış
Hafta																
1	1171	107	0,91													
2	600	163	0,73													
3	256	77	0,70													
4	257	106	0,59	45	43	110	49	0,55	77	26	0,66	220	137	0,38	0,59	0,28
5	285	168	0,41	50	45	117	34	0,71	66	15	0,77	222	133	0,40	0,58	0,61
6	332	154	0,545	42	43	103	44	0,57	73	23	0,68	222	106	0,52	0,56	0,21
	286	193	0,33	41	43	105	48	0,54	68	17	0,75	226	115	0,49	0,53	0,355
7	268	174	0,35	40	43	103	44	0,57	73	23	0,68	223	110	0,51	0,56	0,19
8	276	190	0,31	41	43	110	51	0,54	75	28	0,63	208	123	0,41	0,51	0,27
9	278	192	0,31	41	43	142	38	0,73	110	23	0,79	208	120	0,42	0,54	0,24
10	2190	2122	0,31	34	39	476	46	0,90	334	28	0,92	204	118	0,42	0,51	0,22
11	2688	2112	0,21	44	47	186	50	0,73	24	14	0,42	209	122	0,42	0,55	0,24
12	2405	2118	0,12	42	47	210	52	0,75	98	26	0,73	205	200	0,02	0,55	0,40
13	2460	2191	0,11	43	48	194	49	0,75	84	30	0,64	232	180	0,22	0,63	0,48
14	2456	2130	0,13	45	43	184	51	0,72	82	28	0,66	224	176	0,21	0,57	0,43

Çizelge 5’ ten görüldüğü gibi alkalinite, UYA/Alkalinite değerleri literatür değerleri ile uyumlu olmuştur. Şubat ayı 2. haftası bekletme süresi tercihen 80 saatten 40 saate indirilmiş ve bu değişim KOİ giderme verimine yansımıştır. Kayseri’ye yapılacak olan arıtma tesisinde HÇYR’ün ön çöktürme havuzu çıkışında olacağından dolayı giriş suyunun gerçeği temsil edebilmesi maksadı ile 3. ve 4. haftalarda Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisinden ön çöktürme çıkışından numune alınmıştır. Bu nedenle KOİ değeri ilk 2 haftadaki giriş değerlerinden daha düşük olmuştur. Ancak verimde herhangi bir olumsuz değişiklik olmaksızın % 66-70 arasında kalmıştır.

Mart 2009 tarihi itibarıyla sisteme verilen atıksu debisi günde 12 litreye çıkartılmıştır. Sistemin alışma evrelerinde meydana gelen 0,5 litrelik granül kaybı göre alınarak hidrolik bekleme süresi 20 saat olarak hesaplanmıştır. Organik yükleme hızı ise 1,32 olarak bulunmuştur.

Nisan ayı başında atıksu verilen evsel atıksuyun karakterizasyonu yapılarak; anaerobik sistemlerde optimum KOİ/N/P oranını oluşturmak için evsel atıksuyun KOİ si litre başına 1,7 ml metanol ilavesiyle 2200 ± 270 mg/l değerine getirilmiştir.

Çalışma boyunca organik yükleme hızı $0,6-11.71$ kg KOİ/m³ gün arasında değişmiştir. Devreye alma ve işletme dönemi boyunca KOİ konsantrasyonları ve giderim verimleri Çizelge 3’te verilmiştir. KOİ giderim verimleri çalışma boyunca %11-91 arasında bulunmuştur. KOİ giriş konsantrasyonunun zamanla artması çıkış konsantrasyonunda da artış meydana getirerek KOİ giderim verimini epey düşürmüştür.(Şekil 1)



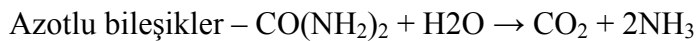
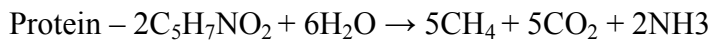
Şekil 1 Anaerobik reaktörde KOİ konsantrasyonunun zamanla değişimi

Anaerobik reaktörde stabilitenin sağlanması ve takibi için en önemli iki parametre pH ve alkalinitedir. Bu parametreler deney süresi boyunca sürekli olarak izlenmiştir. Reaktörün çıkış pH değerleri 9,95-7,82 ve alkalinite değerleri ise 333-575 mg CaCO₃/l arasında bulunmuştur (Çizelge 6).

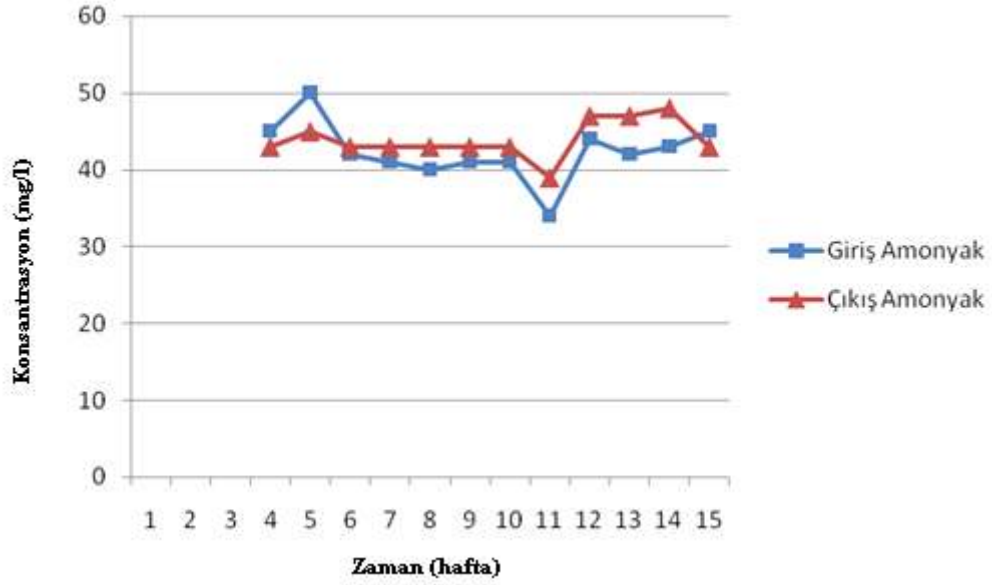
Çizelge 6 Aylara göre anaerobik reaktördeki pH, sıcaklık ve alkalinite değerleri

	pH		Sıcaklık °C		Alkalinite mg CaCO ₃ /l	
	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış	Giriş	Çıkış
şubat	7,99	7,15	21	19,3	460	501
	7,63	7,35	17,9	17,5	480	390
	7,58	7,58	16,2	15,5	369	498
mart	7,4	7,46	18,5	18,1	378	490
	7,55	7,59	18,4	16,6	385	218
	7,73	7,62	15,4	16,2	400	496
	7,3	7,22	16,2	16,1	428	333
nisan	7,47	7,58	18,3	17,6	401	575
	7,37	7,36	17	16,6	405	463
	7,56	7,82	17,7	18	387	499
	7,73	7,59	18	18,2	400	533
mayıs	7,59	7,62	16,4	16,8	382	501
	7,57	7,34	17	17,2	375	498
	7,47	6,95	18,3	18,6	370	378
	7,59	7,31	21,1	21,2	393	412

Sistem çıkışında amonyak azot konsantrasyonunda artış görülmüştür (Şekil..). Bu artışın anaerobik sistemlerde protein ve azotlu bileşiklerin parçalanması sonucunda ortaya çıkan amonyak yüzünden olduğu düşünülmektedir

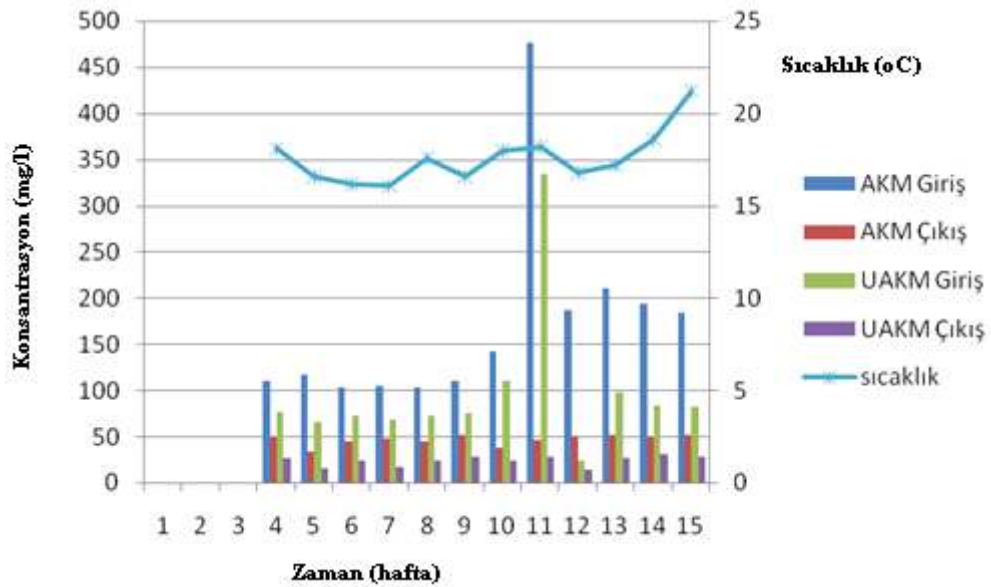


Yukarda oluşan reaksiyonlar yüzünden anaerobik sistem çıkışında giriş suyundan daha yüksek konsantrasyonda amonyak bulunmuştur.



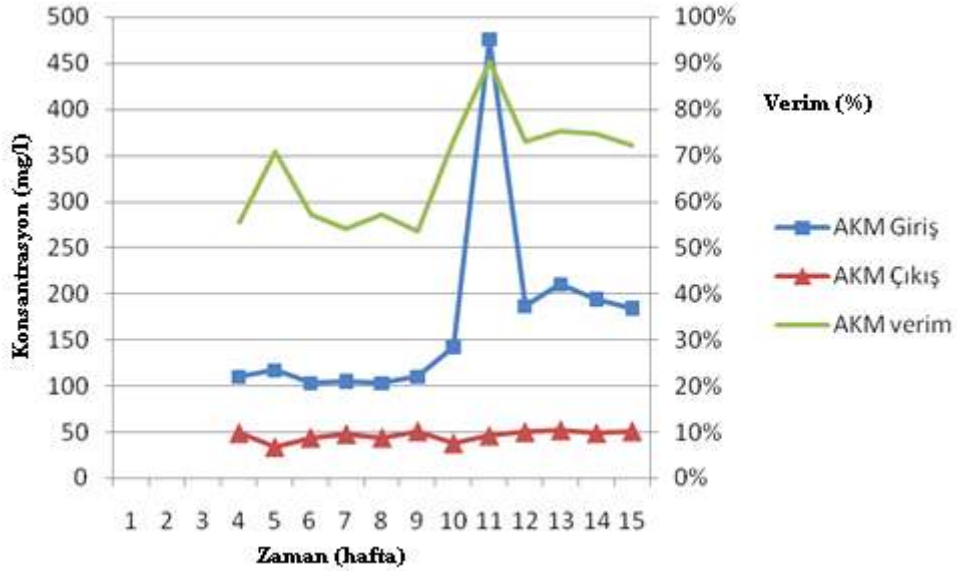
Şekil 2 Anaerobik reaktörde amonyak konsantrasyonunun zamanla değişimi

Çalışma boyunca sistemden çıkan askıda katı ve uçucu askıda katı madde konsantrasyonlarının 50 mg/l'den daha az olduğu görülmüştür (Şekil 3). Sisteme verilen evsel atıksuyun AKM ve UAKM konsantrasyonlarındaki dengesizlikler, evsel atıksuyun sisteme hiçbir bir karıştırma işleminden geçmeden verilmesinden kaynaklanmıştır. Giriş suyundaki bu dengesizlikler çıkış suyunun kalitesini de etkilemiştir.

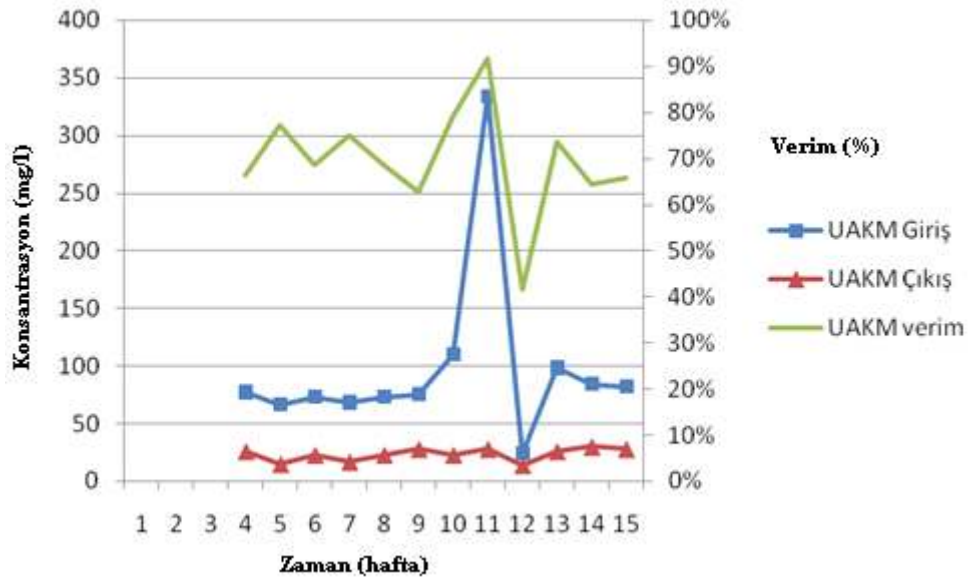


Şekil 3 Anaerobik reaktörde AKM ve UAKM konsantrasyonunun zamanla değişimi

Buna rağmen AKM giderim verimleri %50 'nin üzerinde, UAKM giderim verimleri de %40'ın üzerinde bununmuştur (Şekil 4 ve Şekil 5).

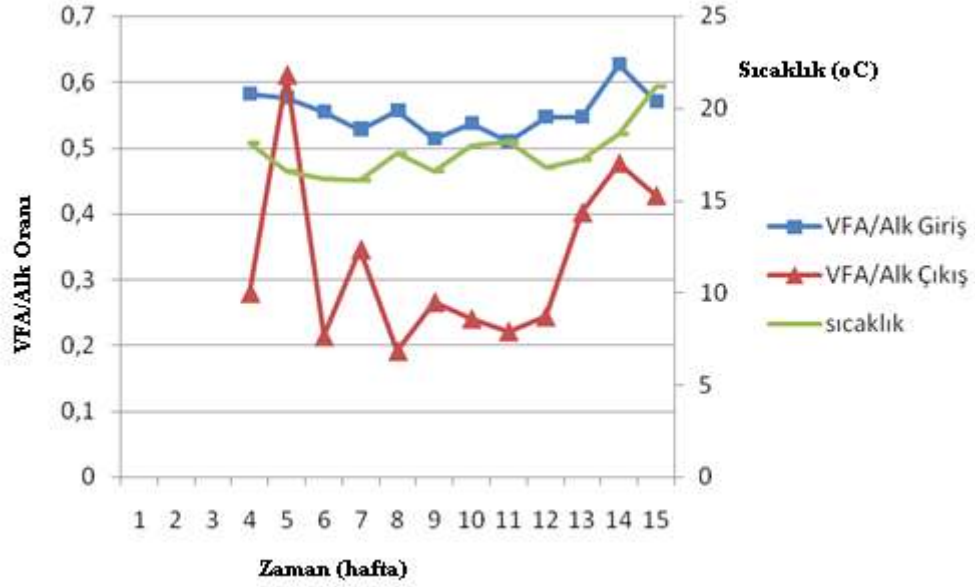


Şekil 4 Anaerobik reaktörde AKM konsantrasyonunun ve giderim veriminin zamanla değişimi



Şekil 5 Anaerobik reaktörde UAKM konsantrasyonunun ve giderim veriminin zamanla değişimi

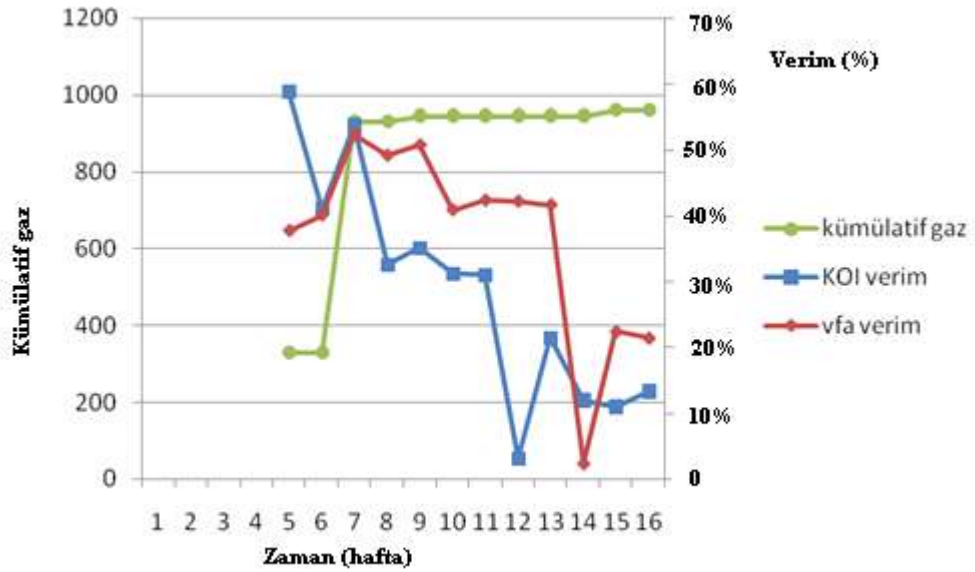
Hickey ve Switzenbaum (1991) yüksek UYA birikimine ve yüksek UYA/Alk oranına sahip biranaerobik reaktörün stabilitesi bozulmuştur. Giderek düşen KOİ verimiyle beraber sistemin UYA/Alkalinite oranında artarak anaerobik sistemin giderek stabilitesinin bozulduğu görülmüştür (Şekil 6).



Şekil 6 Anaerobik reaktörde giriş ve çıkış UYA/Alk oranlarının zamanla değişimi

Uçucu yağ asidinin birikimi genellikle reaktöre uygulanan şok yükler, değiştirilen hidrolik bekleme süresi ve organik yükleme hızlarının sonucunda oluşmaktadır (Lettinga et al,2005).

Sistemdeki KOİ giderimi ve UYA verimi reaktörden çıkan kümülatif gaz ile paralel bir ilişkidir. Çalışma boyunca KOİ giderim verimi, UYA verimi ve oluşan kümülatif gaz arasındaki ilişki Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7 Anaerobik reaktörde kümülatif gaz, KOİ verimi ve UYA veriminin zamanla değişimi

Yukarda verilen çizelge ve şekillerde görüldüğü gibi sistem, verilen şok yüklemelere (değişen HBS ve OYH) adapte olamaması yüzünden kararlı hale geçememiştir. Bu şok yüklemelerin nedenleri ise taşıma ve laboratuvar kurulumunda meydana gelen aksaklıklar ve rutin analizlerin düzenli yapılamamasıdır.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 23.12.1983

Doğum yeri İstanbul

Lise 1998–2002

Fatin Rüştü Zorlu Süper Lisesi

Lisans 2003–2007

Sakarya Üniversitesi İnşaat Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2007–2009

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı