

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL ATIKSULARIN DOĞAL ORTAM
SICAKLIKLARINDA ANAEROBİK ARITIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre Müh. Deniz İzlen ÇİFÇİ**

Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ÇEVRE BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EVSEL ATIKSULARIN DOĞAL ORTAM
SICAKLIKLARINDA ANAEROBİK ARITIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Çevre Müh. Deniz İzlen ÇİFÇİ
(501021500)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 6 Mayıs 2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 3 Haziran 2005

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cumali KINACI

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. İzzet ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Bahar KASAPGİL İNCE (B.Ü.)

HAZİRAN 2005

ÖNSÖZ

Çalışmanın yürütülmesi ve yönlendirilmesindeki değerli katkılarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Cumali KINACI'ya, tez çalışması sırasında çözümler üreten ve yol gösteren Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK'e ve tezin savunma aşamasındaki katkılarıyla tezin geliştirilmesinde emeği geçen Prof. Dr. Bahar KASAPGİL İNCE'ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tezin tüm aşamalarında bilgi ve desteği ile yanımda hissettiğim Araş. Gör. Çiğdem YANGIN GÖMEÇ'e teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca evsel atıksu numunelerini sağlayan İSKİ Ataköy Arıtma Tesisi çalışanlarına ve İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı personeline teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bana her zaman inanan, güvenen ve destek olan sevgili anneme ve saygı değer babama içten ve sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2005

DENİZ İZLEN ÇİFÇİ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Anaerobik Arıtma	3
2.1.1 Giriş	3
2.1.2 Anaerobik arıtma aşamaları	3
2.2 Anaerobik Arıtma Sistemleri	4
2.2.1 Genel bakış	4
2.2.2 Yukarı akışlı çamur yataklı reaktör	5
2.3 Evsel Atıksuların Anaerobik Arıtımı	6
2.3.1 Evsel atıksuların mezofilik altı sıcaklıklarda anaerobik arıtımı	7
2.3.2 Tam ölçekli sistemler	12
2.4 Düzenli Depolama Alanlarından Kaynaklanan Sızıntı Suları	14
2.4.1 Sızıntı suyu özellikleri	15
2.4.1.1 Genç sızıntı suyu özellikleri	15
2.4.1.2 Yaşlı sızıntı suyu özellikleri	15
2.4.2 Sızıntı sularının evsel atıksular ile birlikte arıtımı	16
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	18
3.1 Amaç	18
3.2 Materyal ve Metot	18
3.2.1 Yukarı akışlı çamur yataklı reaktör	18
3.2.2 Kullanılan atıksu kaynağı	18
3.2.2.1 Evsel atıksu	18
3.2.2.2 Genç sızıntı suyu	21
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	23
4.1 Giriş	23
4.2 Ham Evsel Atıksu (Karıştırılmış) ile Yapılan Çalışma	24
4.2.1 Organik madde giderimi	24

4.2.2 Sıcaklık	27
4.2.3 pH ve alkalinite	27
4.2.4 Askıda katı madde	28
4.2.5 Biyokütle	29
4.2.6 Biyogaz üretimi	30
4.3 Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel Atıksu ile Yapılan Çalışma	30
4.3.1 Organik madde giderimi	30
4.3.2 Sıcaklık	33
4.3.3 pH ve alkalinite	33
4.3.4 Askıda katı madde	34
4.3.5 Biyokütle	35
4.3.6 Biyogaz üretimi	36
4.4 Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel Atıksu + Genç Sızıntı Suyu ile Yapılan Çalışma	36
4.4.1 Organik madde giderimi	36
4.4.2 Sıcaklık	36
4.4.3 pH ve alkalinite	39
4.4.4 Askıda katı madde	40
4.4.5 Biyokütle	40
4.4.6 Biyogaz üretimi	41
3. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
5.1 Ham Evsel Atıksu ile Elde Edilen Sonuçlar	43
5.2 Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel Atıksu ile Elde Edilen Sonuçlar	44
5.3 Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel Atıksu + Genç Sızıntı Suyu ile Elde Edilen Sonuçlar	45
5.4 Öneriler	46
KAYNAKLAR	47
EKLER	52
ÖZGEÇMİŞ	59

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1: Düzenli depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının özellikleri	16
Tablo 2.2: Genç ve yaşlı sızıntı suyu özellikleri	17
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun özellikleri	20
Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun özellikleri	21
Tablo 3.3: Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu özellikleri	22
Tablo 4.1: Genel işletme koşulları	24
Tablo 4.2: Ham evsel atıksu ile yapılan çalışmada elde edilen parametre değerleri	25
Tablo 4.3: Reaktör içindeki çamurun farklı yüksekliklerdeki konsantrasyonu (ham evsel atıksu)	29
Tablo 4.4: Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu ile yapılan çalışmada elde edilen parametre değerleri	31
Tablo 4.5: Reaktör içindeki çamurun farklı yüksekliklerdeki konsantrasyonu (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)	35
Tablo 4.6: Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu ile yapılan çalışmada elde edilen parametre değerleri	37
Tablo 4.7: Reaktör içindeki çamurun farklı yüksekliklerdeki konsantrasyonu (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)	41
Tablo A: Evsel atıksuların anaerobik arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar	52

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Polimerik yapıdaki maddelerin anaerobik arıtma aşamaları	4
Şekil 3.1 : Çalışmada kullanılan yukarı akışlı çamur yataklı reaktörün şematik görünümü	19
Şekil 4.1 : Giriş ve çıkış toplam KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ham evsel atıksu)	26
Şekil 4.2 : Giriş ve çıkış çözünmüş KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ham evsel atıksu)	26
Şekil 4.3 : KOİ giderim veriminin sıcaklık ile değişimi (ham evsel atıksu) .	27
Şekil 4.4 : Giriş ve çıkış pH ve alkalinite değerleri (ham evsel atıksu)	28
Şekil 4.5 : Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarının zamanla değişimi (ham evsel atıksu)	29
Şekil 4.6 : Giriş ve çıkış toplam KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)	32
Şekil 4.7 : Giriş ve çıkış çözünmüş KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)	32
Şekil 4.8 : KOİ giderim veriminin sıcaklık ile değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)	33
Şekil 4.9 : Giriş ve çıkış pH ve alkalinite değerleri (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)	34
Şekil 4.10 : Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarının zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)	35
Şekil 4.11 : Giriş ve çıkış toplam KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)	38
Şekil 4.12 : Giriş ve çıkış çözünmüş KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)	38
Şekil 4.13 : KOİ giderim veriminin sıcaklık ile değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)	39
Şekil 4.14 : Giriş ve çıkış pH ve alkalinite değerleri (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)	40
Şekil 4.15 : Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarının zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)	41
Şekil 4.16 : Giderilen kgKOİ başına üretilen biyogaz hacminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)	42

EVSEL ATIKSULARIN DOĞAL ORTAM SICAKLIKLARINDA ANAEROBİK ARITIMI

ÖZET

Bu çalışmanın amaçları; düşük sıcaklıklarda düşük kirlilik yüküne sahip evsel atıksuların yüksek hızlı yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile anaerobik arıtılabilirliğinin incelenmesi ve ısıtmaya ihtiyaç duyulmadan daha ekonomik ve uygun bir anaerobik arıtma alternatifinin değerlendirilmesidir. Çalışmada, laboratuvar ölçekli bir yukarı akışlı çamur yataklı reaktör sürekli sistem olarak mezofilik altı (oda sıcaklığında) sıcaklıklarda işletilmiştir. Kışın havanın soğumasıyla birlikte psikofilik sıcaklık değerlerinde de çalışılmıştır. Reaktör ilk olarak ham evsel atıksu ile 12 saatlik hidrolik bekleme süresi değerinde işletilmiş, daha sonra 8 saat hidrolik bekleme süresinde ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu ile işletilmiştir. Çalışmanın son aşamada orta kuvvette bir evsel atıksu karakterini temsil edebilmek amacıyla genç sızıntı suyu (~%1) kullanılmış ve reaktör 10 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmiştir. Sızıntı suyunun evsel atıksu ile belirli oranda karıştırılmasının sebebi, hem havasız reaktöre daha konsantre bir giriş suyu beslenmesi hem de düzenli depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının kontrolünde etkili bir alternatifin geliştirilmesidir. Yapılan çalışmalar %2-3 oranlarında sızıntı suyu ilavesinin atıksu arıtma sistemlerinde ciddi sorunlar yaratmayacağını göstermiştir.

Reaktörün ham evsel atıksu beslenerek 12 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmesi ile %43-72 toplam KOİ ve %19-45 çözünmüş KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Düşük kirlilik yüküne sahip evsel atıksuların doğal sıcaklık ortamlarında yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile anaerobik arıtımının uygun olduğu görülmüştür. Böylece ilave ısıtma ihtiyacı olmamasından dolayı daha ekonomik bir arıtma sistemi elde edilmiştir. Reaktör çıkış suyunun tarım alanlarında sulama amaçlı kullanımında uygun olduğu görülmektedir. Fakat arıtılan suyun sulama amaçlı kullanımı için gerekli diğer parametrelerin de (sülfat, klorür konsantrasyonu ve fekal koliform gibi) standart değerlerini sağlayıp sağlamadığının araştırılması gerekmektedir.

Reaktörün ön çökeltimden geçmiş evsel + genç sızıntı suyu beslenerek 10 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmesi ile %53-68 toplam KOİ ve %60-77 çözünmüş KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Bu nedenle düzenli depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının evsel atıksu ile birlikte arıtımının mümkün olduğu görülmüştür. Ancak çıkış suyunun alıcı ortam deşarj standartlarını sağlayabilmesi için ilave bir arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

ANAEROBIC TREATMENT OF DOMESTIC WASTEWATER AT SUB-MESOPHILIC CONDITIONS

SUMMARY

The aims of this thesis are to investigate anaerobic treatability of low strength domestic wastewater at low temperatures by high-rate UASB reactor (Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor) and to evaluate the possibility of a more economic and appropriate system without requiring any heating requirement. In this study, a lab-scale anaerobic UASB reactor was operated as a continuous system at sub-mesophilic temperatures (room temperatures). In winter the reactor was operated at psychrophilic temperatures due to the decrease in weather temperature. Firstly, UASB reactor was operated by feeding raw domestic wastewater at a HRT (hydraulic retention time) of 12 h. After that the reactor was operated with pre-settled domestic wastewater at a HRT of 8 h. In the last part of this study, the reactor was operated by mixing some amounts of pre-settled young leachate (~1%) with the pre-settled domestic wastewater for representing medium strength domestic wastewater at a HRT of 10 h. The aim of young leachate addition to domestic wastewater was not only giving more concentrated inflow to the anaerobic reactor but also providing an effective alternative for leachate control in sanitary landfills. Several studies have shown that 2-3% of leachate addition does not cause any important problems for wastewater treatment systems.

Operation of the reactor with raw domestic wastewater at a HRT of 12 h yielded 43-72% total COD and 19-45% soluble COD removals. It was seen that anaerobic treatment of low strength domestic wastewaters with UASB reactor at sub-mesophilic conditions could be appropriate. In this way, more economic treatment system was obtained due to no additional heating. It was also concluded that effluents of the UASB reactor were very suitable for irrigation at agricultural areas.

Operation of reactor with pre-settled domestic + young leachate at a HRT of 10 h yielded 53-68% total COD and 60-77% soluble COD removals. Thus, treatment of leachates originated from sanitary landfills with domestic wastewater was possible. However, an additional treatment is required for the effluent to provide the discharge standards for receiving bodies.

1.GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Anaerobik arıtma sistemleri aerobik arıtmaya göre daha düşük çamur oluşumu, daha düşük enerji kaynağına ihtiyaç duymaları ve daha düşük işletme maliyetleri gibi avantajlarından dolayı evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında daha uygun bir alternatif olarak görülmektedir. Aerobik arıtmada enerji, işletme ve bakım maliyetleri daha fazladır. Anaerobik arıtma sistemleri ise biyogaz gibi faydalı enerji üretmeleri sebebiyle büyük önem kazanmaktadır. Anaerobik sistemlerin endüstriyel atıksular gibi yüksek kirlilik yüküne sahip atıksuların arıtımında yıllardır pilot ve tam ölçekli sistemler ile yapılan uzun süreli çalışmalar sonucunda uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Ayrıca son yıllarda evsel atıksular gibi düşük kirlilik yüküne sahip atıksuların arıtımında elde edilen başarılı sonuçlar neticesinde anaerobik arıtma, evsel atıksuların arıtımında da kullanılmaya başlanmıştır.

Anaerobik arıtma sistemleri genel olarak 20°C'nin altındaki sıcaklıklar ve düşük kirlilik yüküne sahip atıksular için uygun olmadığı düşünüldüğü için anaerobik arıtma ile ilgili çalışmalarda mezofilik şartlar (25-40°C, optimum sıcaklık 35°C) sağlanmaktaydı. Ancak günümüzde farklı sıcaklık ortamları ile yapılan araştırmalar sonucunda düşük kirlilik yüküne sahip atıksuların düşük sıcaklıklarda anaerobik arıtımı ile başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Çeşitli sıcaklıklarda yürütülen birçok çalışma anaerobik arıtma uygulamalarında uygun bir prosesin seçilmesi durumunda sıcaklığın sınırlayıcı etken olmadığını göstermektedir. Organizmaların istenilen sıcaklığa alıştırılmaları durumunda, reaktörün mezofilik altı sıcaklık koşullarında bile işletilebildiği ve mezofilik altı sıcaklıkta anaerobik arıtmanın orta ve düşük sıcaklıkta deşarj edilen atıksular için uygun bir alternatif olduğu belirtilmektedir. Evsel atıksu sıcaklık değerlerinin 35°C'den daha düşük olduğu durumlarda, bu atıksuların mezofilik anaerobik arıtmaları sırasında ısıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, anaerobik arıtma sistemlerinin düşük sıcaklıklarda (15-25°C) işletilebilmesi, arıtma maliyetini büyük ölçüde düşürmektedir. Bazı dezavantajlarına rağmen, düşük kirlilik

yüküne sahip atıksuların ilave ısıtma ihtiyacı olmadan düşük sıcaklıklarda anaerobik arıtmaya, maliyetin ve enerji gereksiniminin belirgin olarak azalmasından dolayı önemli derecede başarı sağlamaktadır.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amaçları; düşük sıcaklıklarda düşük kirlilik yüküne sahip evsel atıksuların yüksek hızlı yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile anaerobik arıtılabilirliğinin incelenmesi ve ısıtmaya ihtiyaç duyulmadan daha ekonomik ve uygun bir alternatifin değerlendirilmesidir. Böylece düşük kirlilik yüküne sahip evsel atıksuların yüksek hızlı yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile doğal sıcaklık ortamlarında ısıtmaya ihtiyaç duyulmadan arıtımı düşünülerek ülkemizin sıcak ve ılıman iklim kuşağında bulunan küçük yerleşim yerleri için alternatif bir arıtma sisteminin geliştirilmesi ve uygulanması planlanmıştır.

Çalışmada pilot ölçekli yukarı akışlı çamur yataklı reaktör İSKİ Ataköy Arıtma Tesisi'nden gelen evsel atıksu ile sürekli sistem olarak işletilerek, doğal ortamlardaki sıcaklık etkisinin sistem performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma üç aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada, reaktör 12 saat hidrolik bekleme süresinde ham evsel atıksu ile beslenmiştir. İkinci aşamada, reaktör 8 saat hidrolik bekleme süresinde ön çökeltimden geçirilmiş evsel atıksu ile beslenmiştir. Çalışmanın üçüncü ve son aşamada ise, ön-çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu, ortalama KOİ konsantrasyonu 500-600 mg/l olacak şekilde karıştırılmış ve giriş akımının orta kirlilikte bir evsel atıksuyu temsil etmesi sağlanmıştır. Bu aşamada reaktör 10 saat hidrolik bekleme süresinde çalıştırılmıştır. Her üç kısımda sistem ilave olarak ısıtılmadan oda sıcaklığında çalıştırılmıştır. Elde edilen deneysel veriler değerlendirilerek sistemin evsel atıksuların arıtımında uygulanabilirliği incelenerek, doğal ortam sıcaklıklarının anaerobik arıtma üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Anaerobik Arıtma

2.1.1 Giriş

Anaerobik arıtma, atıksudaki organik maddelerin moleküler oksijenin bulunmadığı bir ortamda anaerobik mikroorganizmalar tarafından biyolojik süreçlerle parçalanmak suretiyle CH_4 , CO_2 , NH_3 ve H_2S gibi son ürünlere dönüşmesidir. Anaerobik arıtma; psikofilik ($<20^\circ\text{C}$), mezofilik ($25-40^\circ\text{C}$, optimum sıcaklık 35°C), termofilik ($50-60^\circ\text{C}$, optimum 55°C) olarak üç farklı sıcaklık aralığında gerçekleşmektedir. Metan üretimi sıcaklık arttıkça artmaya başlar. Anaerobik prosesler ani sıcaklık değişimlerine karşı duyarlı sistemlerdir. Polimerik maddeler (selüloz, nişasta, yağ vb.) içeren atıksuların anaerobik arıtımı, polimerik bileşiklerin hidrolizi, asit üretimi ve metan üretimi olmak üzere başlıca üç aşamadan oluşmaktadır.

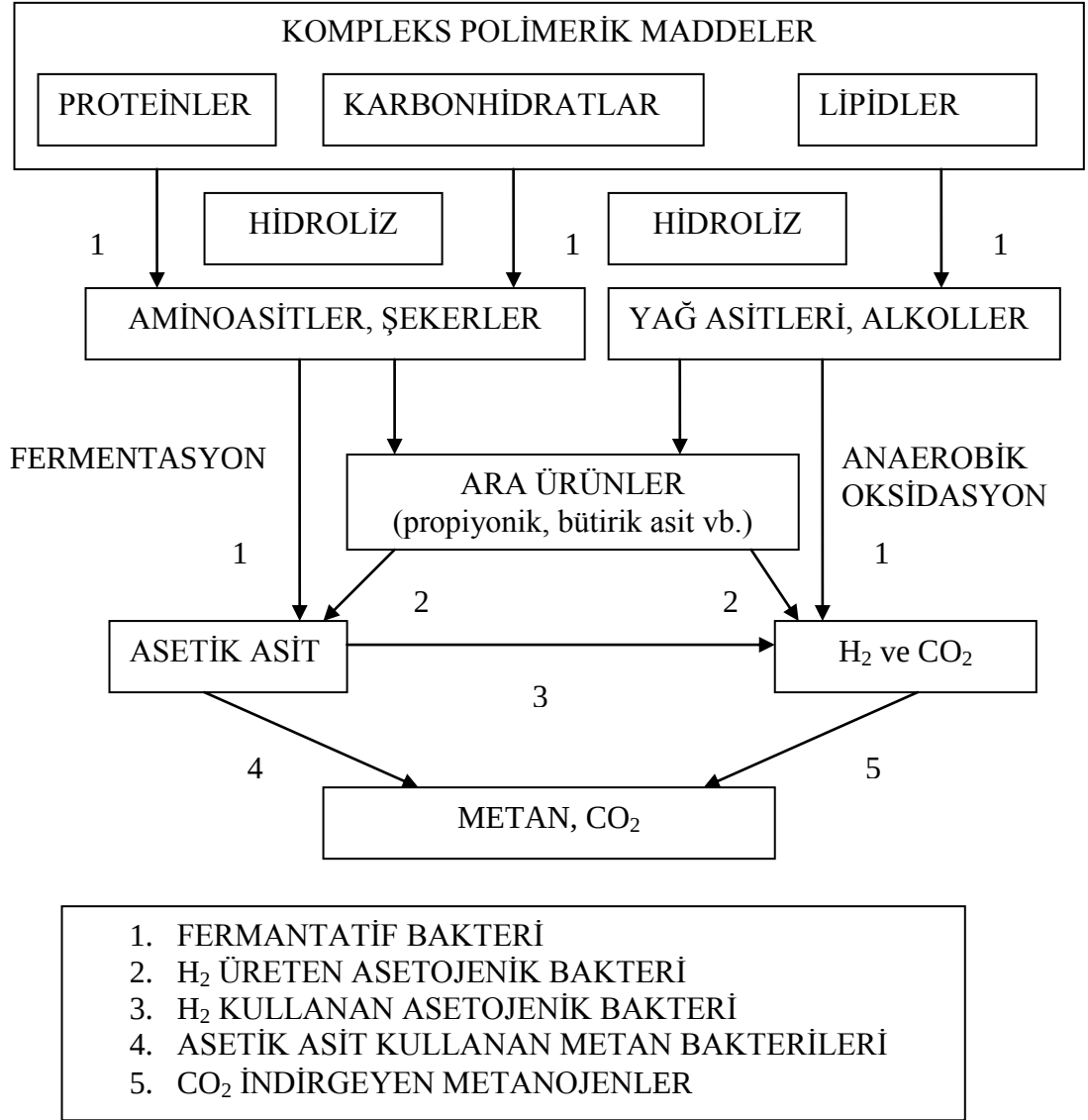
2.1.2 Anaerobik arıtma aşamaları

a) Polimerik Bileşiklerin Hidrolizi: Polisakkaritler, proteinler ve lipidler gibi polimerik yapıda kompleks maddeler hücre dışı enzimler ile hücre zarından geçebilecek çözünebilir ürünlere hidroliz olurlar. Bu hidroliz aşaması çok yavaş bir süreçtir ve pH, sıcaklık ve çamur yaşı gibi faktörler reaksiyon hızını önemli derecede etkilemektedir.

b) Asit Üretimi: Basit ve çözünebilir yapıdaki hidroliz ürünleri fermentasyon veya anaerobik oksidasyon ile asetik aside veya propiyonik, bütirik asit gibi ara ürünlere dönüşürler.

c) Metan Üretimi: Asetik asit parçalanması veya H_2 ile CO_2 'nin sentezi sonucu CH_4 (metan) üretimi gerçekleşmektedir. Asetik asit parçalayan bakterilere göre metan üreten bakterilerin daha hızlı çoğalmasından dolayı ortamda yeterli H_2 ve CO_2 olduğu sürece metan üretimi olur. Metan üretimi yavaş bir süreç olmasından dolayı

genellikle anaerobik arıtmada hız sınırlayıcı faktör olarak kabul edilmektedir. Ancak bazı durumlarda hidroliz safhası da hız sınırlayıcı faktör olabilir. Şekil 2.1’de Polimerik yapıdaki maddelerin anaerobik arıtma aşamaları verilmiştir.



Şekil 2.1: Polimerik yapıdaki maddelerin anaerobik arıtma aşamaları (Ubay, 1993)

2.2 Anaerobik Arıtma Sistemleri

2.2.1 Genel bakış

Anaerobik arıtma sistemleri, çamur miktarının düşük olması ve oluşan çamurun kararlı olması, yüksek organik yüklemelerde yeterli arıtım verimini sağlaması, kesikli işletmeye uygun olması, temel besin maddesi (azot, fosfor gibi) ihtiyacının az

olması ve oluşan biyogazın enerji değerinin olması gibi birçok avantajlara sahiptir (Angenent ve diğ., 2001).

Anaerobik arıtma, avantajlarından dolayı atıksuların arıtımında oldukça büyük bir öneme sahiptir. Anaerobik arıtma ile ilgili yapılmış araştırmalar neticesinde, bu sistemler arasında hem yatırım hem de işletme maliyetleri açısından en ekonomik olanı yukarı akışlı çamur yataklı reaktörlerdir. Çözünebilir atıksuların reaktör ile arıtımının kurulan pilot ve tam ölçekli tesisler ile yapılan araştırmalar ile başarılı ve ekonomik olduğu kanıtlanmıştır (Ubay, 1993).

2.2.2 Yukarı akışlı çamur yataklı reaktör

Yukarı akışlı çamur yataklı reaktörler, havasız filtredeki sentetik filtre malzemesinin pahalılığı ve askıda katı maddeler ile tıkanma, kanallanma, büyük debilerdeki aşırı yük ve biyokütle kaybı gibi olumsuzlukları taşımayan ve içerisinde yatak malzemesi olmayan, mikroorganizmaları yoğun granüller halinde bulunan bir sistemdir. Yukarı akışlı çamur yataklı reaktörde reaktörün alt kısmındaki çamur yatağında ve üst kesimindeki çamur örtüsünde arıtım gerçekleşir. Kuvvetli atıklarda çamur yatağı, seyreltik atıklarda ise çamur örtüsü arıtmada ağırlıklı rol oynar. Evsel atıksularda da uygun olan bu sistemle 40000 mg/l't'nin üzerinde biyokütle konsantrasyonlarına ulaşabilmektedir. Reaktörde uygun işletme parametreleri kullanıldığında farklı tiplerdeki bakterilerin birleşimi ile küresel şekilli kütleler geliştirilebilmektedir. Aşı kaynağı olarak çürütülmüş evsel atıksu çamuru kullanılarak basit ve hızlı işletmeye alma dönemi ile uygun bir arıtma sistemidir (Öztürk, 2000).

Çeşitli atıksularda yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile 15 kg KOİ/m³ organik yükleme oranlarına kadar arıtım sağlanabilmektedir. Atıksuyun karakterine bağlı olarak 20-35°C sıcaklıklarda %60-70 KOİ giderim oranı ve %75-85 BOİ giderim oranına ulaşılmaktadır.

Yüksek verimi, yüksek organik yükleme hızları, düşük hidrolik bekleme süreleri, aşırı yüklerden etkilenmemesi, dolgu malzemesine ihtiyaç duymaması, hızlı alışma dönemi, yeniden işletmeye alma kolaylığı, düşük enerji ihtiyacı, farklı atıksu tipleri için uygulanabilirliği, çeşitli sıcaklık koşullarına alıştırılabilme olanağı ve işletme kolaylığı sebebi ile dünyada en yaygın uygulama alanı olan anaerobik arıtma sistemi yukarı akışlı çamur yataklı reaktörlerdir (Öztürk, 2000).

2.3 Evsel Atıksuların Anaerobik Arıtımı

Evsel atıksuların yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile arıtımında %70 civarında toplam KOİ giderim verimine ulaşılmaktadır. Yapılan çalışmalar mezofilik ve termofilik sıcaklık değerlerinde olmasına rağmen son yıllarda çeşitli sıcaklık koşullarında gerçekleştirilen çalışmalarda, uygun proses tasarımı seçildiğinde, anaerobik arıtmada sıcaklığın kısıtlayıcı faktör olmadığı gösterilmektedir. Mikroorganizmaların istenilen sıcaklık koşullarına alıştırılması ile reaktörün sıcak ve soğuk sıcaklık koşullarında işletilebileceği belirtilmektedir. Özellikle evsel atıksuların deşarj sıcaklığı 35°C'nin altında olmasından dolayı düşük sıcaklıklarda (10-20°C) anaerobik arıtma ısıtmaya gerek duyulmayacağı için daha uygun alternatif olmaktadır. Böylece, ılık ve soğuk iklim koşullarına sahip ülkelerde evsel atıksuların anaerobik arıtımı ilgi çekici bir alternatif olmaktadır.

Evsel atıksu kompozisyonları zaman ve yer farklılıklarından dolayı önemli derecede değişmektedir. Akış, konsantrasyon ve kompozisyon değiştiği zaman, anaerobik arıtma verimi oldukça azalmaktadır (Elmitwalli, 2000). Organik madde konsantrasyonu birkaç saat içerisinde 2-10 kat çeşitlilik göstermekte ve debi, populasyon büyüklüğüne ve atıksu tipine bağlı olarak değişmektedir. Yağmur suyu ile evsel atıksuların birleşik kanal sistemi ile toplanması sonucunda oluşan atıksu karakterizasyonu büyük değişimler göstermektedir (Lens ve diğ., 2001). Askıda katı madde (AKM) evsel atıksuyun önemli KOİ fraksiyonlarını temsil etmektedir ve bu yüzden çamur yatağında çökme ve filtrasyon gerçekleştiği için yüksek AKM giderimi, yüksek toplam KOİ giderimine neden olmaktadır. Çamur yatağı içerisinde tutulma (entrapment), emilme (sorpsiyon) ve süzülme mekanizmaları filtrasyon sırasında görülen üç mekanizmadır ve giriş konsantrasyonu, sıcaklık, reaktör yüksekliği, hidrolik bekleme süresi, yukarı akış hızı, partikül büyüklüğü ve yoğunluğu AKM giderimini etkileyen temel etkenlerdir. Evsel atıksudaki organik maddenin yaklaşık %70-80'i AKM'yi ve %20-30'u koloidal partikülü temsil etmektedir (Elmitwalli, 2000).

Evsel atıksuların yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile arıtımında debi, kirlilik yükü, sülfat (SO_4^{2-}), askıda katılar ve sıcaklık gibi faktörler arıtım verimini etkilemektedir. Atıksuların anaerobik arıtımında sıcaklık; bakterilerin yavaş büyümesi, düşük

metanojenik aktivite, yavaş hidroliz ve yüksek asetat konsantrasyonlarında inhibisyon etkisine neden olmaktadır.

2.3.1 Evsel atıksuların mezofilik altı sıcaklıklarda anaerobik arıtımı

Tam ölçekli yukarı akışlı çamur yataklı reaktörler ile evsel atıksuyun arıtımı ortalama sıcaklığı 30°C olan sıcak bölgelerde iyi verimlere ulaşmıştır (Alaerts ve diğ., 1990; Elmitwalli, 2000; Mahmoud, 2002; Foresti, 2002). Cali (Kolombiya)'da pilot ölçekli reaktör ile evsel atıksu arıtımının teknik ve ekonomik yapılabilirliği araştırılarak bu teknolojinin gelişmiş ülkelerde kullanılması amaçlanmıştır (Schellinkhout ve diğ., 1985; Louwe Kooijmans ve Van Velsen, 1986). 64 m³'lük reaktör 25°C'de (ortalama atıksu sıcaklığı) işletilmiştir. Reaktör seyreltilmiş çürümüş inek gübresi ile aşılantıdır ve tesis 6 ay boyunca 8 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmiştir. Cali'deki atıksu (KOİ: 267 mg/l, BOİ: 95 mg/l) Avrupa ülkelerine göre oldukça seyreltik durumdadır. Ayrıca yüksek konsantrasyonlarda toplam ve uçucu askıda katı madde (AKM: 215 mg/l, UAKM: 108 mg/l) olmasından dolayı girişteki KOİ/BOİ oranı daha yüksektir (2,1-4,4) (Lettinga ve diğ., 1987). AKM giderimi yaklaşık olarak %70 iken, KOİ ve BOİ giderim verimi %75'den daha yüksek bulunmuştur. Fakültatif havuzlar ve oksidasyon hendekleri ile karşılaştırıldığında özellikle de yatırım masrafları ilave edildiğinde yukarı akışlı çamur yataklı reaktörler daha ekonomik ve kullanışlı bulunmuştur.

Lettinga ve arkadaşlarının (1983) yaptığı çalışmada; çürütölmüş evsel atıksu çamuru ile aşılantı 6 m³'lük laboratuvar ölçekli yukarı akışlı çamur yataklı reaktör kullanılmış, 14-17 saat hidrolik bekleme sürelerinde işletilmiştir. Yapılan çalışmada %70-55 (13-17°C) KOİ giderim verimlerine ulaşılmıştır. Çalışma sonunda; düşük sıcaklık koşullarında bile yukarı akışlı çamur yataklı reaktörün evsel atıksu arıtımında kullanılmasının basit ve ucuz bir teknoloji olduğu belirtilmiştir.

Grin ve arkadaşları (1985) tarafından yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile evsel atıksuyun arıtımının araştırıldığı çalışmada 12°C'de ve 8 saat hidrolik bekleme süresinde %75, 24 saatte ise %70 KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Çözünmüş KOİ giderimi organik yüklemeye bağlı olmaksızın %60 civarındadır. 20°C sıcaklıkta hidrolik bekleme süresinin 48 saatten 4 saate düşürülmesine rağmen KOİ giderim veriminde belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. Fakat metan değişim dönüşüm oranı artmıştır. 15°C'den yüksek sıcaklıklarda KOİ giderimi 0,9-1,6 kgKOİ/m³

organik yüklemelerden belirgin şekilde etkilenmemiştir. Ancak 12°C'den düşük sıcaklıklarda KOİ giderimi ve gaz üretimi önemli derecede azalmaktadır.

Schellinkhout ve arkadaşları (1985) tarafından yapılan çalışmada tropikal iklim şartlarında evsel atıksuların yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile arıtımı incelenmiş, 4-8 saat hidrolik bekleme sürelerinde toplam KOİ'de %65-82, çözünmüş KOİ'de ise %83 giderim elde edilmiştir. İşletmeye alındıktan sonra 3-4 saat hidrolik bekleme süresinde %78-85 BOİ giderim verimi elde edilmiştir. Hidrolik yükün 4-15,5 m³/m³.gün aralığında olması durumunda belirgin bir yatak genişlemesi gözlenmiştir.

De Man ve arkadaşları (1986) tarafından yapılan çalışmada; ham evsel atıksuyun (KOİ: 500-700 mg/l) 0,12; 6 ve 20 m³ hacimlere sahip üç ayrı reaktör ile arıtımı araştırılmıştır. Reaktörler granüler çamur ile aşılanmış, 12-18°C sıcaklıklarda ve 7-12 saat hidrolik bekleme sürelerinde işletilmiştir. Çalışmada KOİ giderim verimi %40-60, BOİ giderim verimi %50-70 olarak bulunmuştur. 7-8°C sıcaklıklarda ve 9-14 saat hidrolik bekleme sürelerinde %45-65 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. 20 m³ hacime sahip olan reaktör çok seyreltik atıksu (350 mgKOİ/l) ile beslenmiş, ancak 6-17°C sıcaklıklarda 12 saatten düşük hidrolik bekleme sürelerinde yüksek verime ulaşamamıştır. Reaktör 740-1280 mg/l KOİ'ye sahip farklı bir evsel atıksu ile beslendiğinde 10-15°C sıcaklıklarda ve 13-14 saat hidrolik bekleme sürelerinde KOİ giderim verimi %16-48 olarak bulunmuştur. Fakat elde edilen bu performanslar sonucunda Hollanda'nın iklim koşullarında evsel atıksuyun yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile arıtımı uygun olmadığı kabul edilmiştir. Çamur atıksu temasının özellikle gaz karışımının zayıf olduğu düşük sıcaklıklarda arıtımın verimini oldukça etkilediği belirtilmiştir. İyi derecede AKM giderimi düşük yükseklikte reaktör kullanımında elde edilmiştir. Ancak düşük reaktör yüksekliğinde biyogaz üretiminin daha az olduğunu belirtmişlerdir. Düşük sıcaklıklarda evsel atıksuyun arıtımında yukarı akış hızının 0,5 m/saat'den fazla olduğu zaman AKM gideriminin önemli derece düştüğü görülmüştür. 10-20°C sıcaklıklarda evsel atıksuyun yağmur suyundan ayrılması ile %80'e kadar verim elde edilmiştir (de Man ve diğ., 1988).

Barbosa ve Sant' Anna Jr. (1989) tarafından 120 lt hacimli yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile 9 ay boyunca 19-28°C ortam sıcaklıklarında ham evsel atıksuyun (KOİ: 627 mg/l, BOİ: 357 mg/l) arıtımı araştırılmıştır. Başlangıç periyodu aşılama yapılmadan başarıyla sonuçlanmış ve reaktör tüm araştırma boyunca 4 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmiştir. 1 ay işletme sonrasında küresel bakteri granülleri

gözlenmiştir. Araştırma sonunda 8 mm çapına kadar granüller gözlenmiştir. İlk 4 aylık işletme boyunca KOİ, BOİ ve TAKM gideriminde düzenli bir artış gözlenmiş ve sonrasında giderim veriminde yavaşlama gözlenerek başlangıç periyodu sona ermiştir. Çamur yatağının hızlı gelişimi giriş atıksuyundaki askıda organik maddenin yüksek olmasından (toplam giriş KOİ %76'sı) kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Başlangıç periyodu sona erdikten sonra (son 5 aylık işletme dönemi) %78 toplam BOİ ve %74 KOİ giderim verimine ulaşılmıştır. Son 5 aylık işletme döneminde çamur yatağındaki çamur birikimi başlangıç periyoduna göre %50 daha hızlı olduğu belirtilmiştir. Çıkiştaki AKM konsantrasyonunun girişteki değışimlere bağı olmadığı gözlenmiştir. Son 5 aylık işletme döneminde ortalama askıda katı madde giderimi %72 civarında bulunmuştur. Esas olarak KOİ giderimi AKM'nin çamur yatağında fiziksel proses ile alıkonulmasından kaynaklanmıştır. Çözünmüş KOİ dengesine bakıldığında metanın bir kısmının da hidroliz ve tutulan partikül organik maddenin fermentasyonundan meydana geldiğı açıkça görölmektedir. Çalışmada yüksek oranda yavaş ayrışabilen çözünmemiş organik madde bulunan atıksu kullanılmış ve yüksek kapasitede çamur reaktörde tutulmuştur.

Van Haandel ve Lettinga (1994) tarafından Brezilya'nın Pedregal kentinde 160 m³ hacime sahip olan yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile evsel atıksuyun artımı araştırılmıştır. aşılama yapılmadan işletmeye alınan reaktör 24-26°C sıcaklıklarda ve 17; 5,6; 3; 2,6; 2,1 saat hidrolik bekleme sürelerinde işletilmiş ve %39-75 KOİ, %43-85 BOİ, %22-73 AKM giderimleri elde edilmiştir. 3 saatten daha düşük hidrolik bekleme sürelerinde 4 m³ hacimde olan pilot YAÇY reaktör ile araştırılmıştır.

Viera ve arkadaşları (1994) tarafından Sumare'de (Sao Paulo) evsel atıksuların yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile arıtımını performans ve ekonomi açısından araştırmışlardır. 68 lt hacme sahip YAÇY reaktör çürütölmüş çamur ile aşılandıktan sonra 16-23°C (kış-yaz) sıcaklıklar arasında 7 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmiştir. 8 aylık çalışma sonunda çözünmüş KOİ'de %57 ve toplam KOİ'de %70 arıtım verimi elde etmişlerdir.

Agrawal ve arkadaşları (1997) tarafından yapılan çalışmada 47 lt YAÇY reaktör ve sonrasında anaerobik arıtma uygulanarak ham evsel atıksuyun (toplam KOİ 300 mg/lt) arıtımı 7-30°C sıcaklıklar arasında araştırılmıştır. Kış koşullarında ham atıksuyun sıcaklığı hava sıcaklığından 2-4°C daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Reaktör çürütölmüş atıksu çamuru ile aşılannış ve 2 yıldan fazla süre 7 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmiştir. Toplam KOİ giderimi yıl boyunca %70 civarında gözlenmiştir. Sıcaklık 27°C'den 10°C'ye azaldığı zaman gaz üretim oranının %78 azaldığı görölmüştür.

Singh ve Viraraghavan (1998) tarafından yapılan çalışmada 40 saat (başlangıç periyodu) ile 10 saat (9 aylık periyot sonunda) arasında hidrolik bekleme sürelerinde 20°C sıcaklıkta evsel atıksuyun arıtımında granöl gelişimi gözlenmiştir (0,2 mm'den 1,5 mm'ye kadar). Çalışmada 350-500 mg/lt KOİ ve 150-300 mg/lt çöz KOİ kirlilik yüküne sahip evsel atıksu kullanılmış ve toplam KOİ %60-75, çöz KOİ %70-85 olan giderim verimlerine ulaşmıştır.

Uemura ve Harada (2000) normal ve düşük sıcaklık koşullarında (25-13°C), 4-5 saat hidrolik bekleme sürelerinde evsel atıksuyun yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile arıtımı araştırılmıştır. 21,5 lt hacime sahip olan reaktör granüler çamur ile aşılandıktan sonra 6 ay boyunca evsel atıksu ile beslenmiştir. Çamur yatağında alıkonulan çamurun hidrolizi sıcaklıktan önemli derece etkilenmesine rağmen, işletilme sıcaklığına bakılmaksızın yüksek toplam KOİ giderim verimine (%70 civarı) ulaşmışlardır. Toplam KOİ giderim oranı işletme sıcaklığından çok giriş kirlilik yüküne, özellikle de çamur KOİ konsantrasyonuna bağlı olmuştur. 25°C sıcaklıkta çamur yatağında alıkonulan çamurun %58'i hidroliz olurken, 13°C sıcaklıkta sadece %33'ü hidroliz olmuştur.

Elmitwalli (2000) tarafından 3,8 lt hacimlere sahip yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ve anaerobik hibrit (AH) reaktör ile 13°C sıcaklıkta 8 saat hidrolik bekleme süresinde ham ve çöktürölmüş atıksuyun arıtımı araştırılmıştır. AH reaktör temelde gaz-katı-sıvı ayırıcının yerini sentetik filtre tabakası olan yukarı akışlı reaktör olarak kullanılmıştır. Girişte yüksek konsantrasyonda askıda katı madde bulunmasından dolayı yukarı akışlı çamur yataklı reaktörde çamur yatağında kabarma (flotasyon) meydana gelmiş ve bu yüzden reaktör ham evsel atıksuyun arıtımında kullanışlı görölmemiştir. AH reaktörde polietan köpük tabakasının varlığından dolayı çamur yatağında meydana gelen kabarma önlenmektedir. Reaktörler çöktürölmüş atıksu ile beslendiği zaman koloidal maddelerden kaynaklanan ve çözönmüş KOİ giderimi önemli derecede yüksek bulunmuştur. Çöktürölmüş atıksu kullanıldığında yukarı akışlı çamur yataklı reaktörde %59 toplam KOİ giderim verimi elde edilirken; AH reaktördeki toplam KOİ giderim verimi %61 bulunmuştur. Yukarı akışlı çamur

yataklı reaktör çöktürülmüş atıksu ile beslendiği zaman çamur yatağında kabarma görülmemiştir ve ham atıksu yerine çöktürülmüş atıksu kullanılması ile koloidal maddelerden kaynaklanan KOİ giderim oranı %46'dan %59'a yükselmiştir. Ani askıda KOİ yüklemesi ile çıkıştaki KOİ konsantrasyonu artmasına rağmen, reaktörlerin giderim verimleri etkilenmemiştir.

Foresti (2001) tarafından yapılan çalışmada yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile ortam sıcaklığında 6-10 saat hidrolik bekleme sürelerinde ve 3 kgKOİ/m³.gün'den düşük organik yükleme oranlarında %65-80 KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Çöktürülmüş evsel atıksuyun arıtımında ortalama 16°C (kış) ve 25°C (yaz) sıcaklık koşullarında %50'den fazla KOİ giderim verimleri gözlenmiştir.

Singh ve Viraraghavan (2001) tarafından yapılan çalışmada çeşitli sıcaklıklarda ve hidrolik bekleme sürelerinde 8 lt hacime sahip yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile evsel atıksuyun arıtımı araştırılmıştır. Reaktör performansı sıcaklık ve hidrolik bekleme süreleri değişimlerinden etkilenmiştir. Reaktörün 6 saat hidrolik bekleme süresinde ve 11°C sıcaklıkta işletilmesinde KOİ giderim oranı %90 bulunmuştur. Sıcaklık 6°C'ye düşürüldüğünde ortalama KOİ giderimi %40 civarına düşmüştür. Hidrolik bekleme süresi 6 saatten 4 saate düşürüldüğünde KOİ ve BOİ giderim verimlerinde düşüş gözlenmiştir. Uygun seçim ve reaktördeki zengin çamurdan dolayı çalışmada en yüksek giderim verimi 11°C elde edilmiştir. Çalışma süresinde hidrolik bekleme süresinin düşmesi ile gaz üretimi artmıştır ancak sıcaklığın düşmesi ile azalmıştır. Ayrıca reaktör sisteminin düşük sıcaklık koşulları altında evsel atıksuların ön arıtma/arıtma için başarılı bir uygulama olduğunu belirtmişlerdir.

Mahmoud (2002) Ortadoğu ilkelerinde kış şartlarında ortalama sıcaklık olan 15°C sıcaklıkta evsel atıksuyun arıtımını araştırmıştır. 35°C sıcaklıkta anaerobik çürütücüde aşırı çamurun çürütülerek çamurun reaktöre geri devri sonucu tek kademeli yukarı akışlı çamur yataklı reaktörün performansı düzelmiştir. Tropik ülkelerde yukarı akışlı çamur yataklı reaktör-çürütücü sistemin performansında çok iyi sonuçlar elde edilmiş ve oluşan çamurunda denge halinde olduğu görüşmüştür.

Halalsheh (2002) tarafından Ürdün'de 18-25°C (kış-yaz) sıcaklık koşullarında kuvvetli ham atıksuyun arıtımı araştırılmış ve ümit verici sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada tek ve iki kademeli sistemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. İki kademeli

sistemin ilk kademesi ile karşılaştırıldığında tek kademeli sistemde yüksek çamur stabilizasyonu gözlenmiştir.

Lew ve arkadaşları (2003) tarafından yapılan çalışmada evsel atıksuyun arıtımı 5 lt hacme sahip yukarı akışlı öamur yataklı reaktör ile çeşitli sıcaklık koşullarında ve organik yükleme oranlarında araştırılmıştır. Reaktör granüler çamur ile aşılandıktan sonra başlangıç periyodunda, reaktör 28°C sıcaklıkta işletilerek hidrolik bekleme süresi 24 saatten 1 saate düşürülmüştür. 24-3 saat hidrolik bekleme süreleri arasında yüksek giriş KOİ dalgalanmalarında bile sabit çıkış KOİ konsantrasyonu gözlenmiş ve sadece biyolojik degradasyonun olduğu görülmüştür. Toplam KOİ giderim oranı %82 ve çözünmüş KOİ giderim oranı %84 olarak ölçülmüştür. 3 saatten daha düşük hidrolik bekleme sürelerinde KOİ giderim oranı düşmüştür ve çözünmüş KOİ giderim oranının azalması tam KOİ degradasyonu ile açıklanmıştır. Sıcaklık azaldığında hidroliz oranı azalmış ve reaktördeki çamur birikimi artmıştır.

2.3.2 Tam ölçekli sistemler

Tam ölçekli ukarı akışlı çamur yataklı reaktörler ile evsel atıksuların arıtımı birçok ülkede başarı ile yerine getirilmektedir. Nisan 1989'dan beri Kanpur (Hindistan) şehrinde evsel atıksuların arıtımında yukarı akışlı çamur yataklı reaktör kullanılmaktadır. Sistem günlük 5000 m³ ham atıksuyu arıtacak şekilde tasarlanmıştır. Draaijer ve arkadaşları (1992) tarafından 12 aylık bir araştırma ile 1200 m³ hacime sahip olan sistemin verimi araştırılmıştır. Başlangıç periyodunda reaktöre aşılama yapılmamıştır. Reaktörde yeterli çamur birikimi sağlandıktan sonra besleme yapılmadan yaklaşık 2 hafta boyunca sistemdeki çamur kalitesi gelişimi araştırılmıştır. Yaklaşık 10 haftalık başlangıç periyodundan sonra 6 saat hidrolik bekleme süresinde %74 KOİ, %75 BOİ, %75 TAKM giderimleri elde edilmiştir. Fakat Hindistan'ın yüzey suları deşarj standartlarına (30 mgBOİ/lt, 50 mgTAKM/lt) ulaşabilmek için ilave bir arıtım gerekli görülmüştür. Düşük sıcaklıklar reaktör arıtım verimini etkilememiştir. Ancak düşük sıcaklıklarda biyogaz üretimi düşmüştür. Sıcaklık 20°C'ye ulaştığında reaktörde tekrar biyogaz üretimi başlamıştır. Fazla çamurun atılması ile alıkonulan katı maddenin yüksek derecelere kadar artmasından dolayı çamur yatağının alt kısımlarında AKM konsantrasyonunun fazla olduğu görülmüştür. Sistemde arıtma sonucu oluşan çamurun su içeriği oldukça düşük, kararlı ve çamur kurutma yatağında 6 günlük bekleme süresi sonunda kurutulabildiği

belirlenmiştir. Giriş KOİ, BOİ ve AKM konsantrasyonlarının büyük değişimler göstermesi tesis yanında bulunan sezonluk işletilen 150 deri endüstrisinin atıksuyundan kaynaklandığı belirtilmiştir. Deri atıksuyu sistemde sülfat yüklemesine neden olmaktadır ve bazen çıkışta sülfat gözlenmiştir.

Vieira ve arkadaşları (1992) tarafından araştırılan 120 m³ hacime sahip yukarı akışlı öamur yataklı reaktör ile 5 yıl süresinde oda sıcaklığında ve 5-15 saat hidrolik bekleme süreleri arasında %54-65 KOİ, %60-72 BOİ, %62-75 AKM giderimleri elde edilmiştir. Brezilya'da su kalitesini iyileştirmek ve çevresel etkenler nedeniyle çok çabuk bozulan evsel atıksuyun halk sağlığını etkilememesi nedeniyle kısa sürede işletmeye alınan yukarı akışlı öamur yataklı reaktör tercih edilmektedir. Reaktörde ön arıtım sonrasında arıtılmış suya, durumuna göre dezenfeksiyon veya nutrient giderimi uygulanmaktadır.

Atıksuyun arıtımı için Kanpur'da kurulan diğer tesiste yaklaşık 180 deri endüstrisinin seyreltilmiş atıksuyu ile evsel atıksu arıtılmaktadır. (1/3 oranında) Haskoning (1996) tarafından araştırılan sistem günlük 36000 m³ atıksuyu arıtacak şekilde tasarlanmıştır. Nisan 1994'de işleme alınan tesiste başlangıç periyodu yaklaşık 5 hafta sürmüştür. Reaktör sıcaklığı 18°C (kış) ve 32°C (yaz) arasında değişimler göstermektedir. Sistemde sülfat arıtımı tamamlanmamaktadır ve çıkış suyunda 200 mg/l'te kadar sülfat konsantrasyonu görülmektedir. Çalışma süresince ortalama yükleme oranı 2,5 kgKOİ/m³.gün'dür. %50-70 KOİ, %50-65 BOİ, %45-60 AKM giderimleri elde edilmiştir. Çıkıştaki uçucu yağ asitleri düşük oranlardadır.

Hindistan'ın Mirzapur şehrinde Nisan 1994 yılında işleme alınan tam ölçekli yukarı akışlı öamur yataklı reaktör ve havuz (pond) sistem kurulmuştur. Haskoning (1996b) tarafından araştırılan sistemin sıcaklığı 18°C (kış) ve 32°C (yaz) arasında değişimler göstermektedir. Çalışma süresince ortalama yükleme oranı yukarı akışlı çamur yataklı reaktör için 0,95 kgKOİ/m³.gün ve havuz (pond) için 0,13 kgKOİ/m³.gün'dür. Bu havuz sistemde ülke deşarj standartlarına göre (30 mgBOİ/l, 50 mgAKM/l) uygun çıkış suyu verebilecek şekilde askıda katılar alıkonulmaktadır. Mirzapur atıksu arıtma tesisinde %81 KOİ, %86 BOİ, %89 AKM giderimleri elde edilmiştir. Benzer bir tesiste Hindistan'ın Hyderabad kentinde günlük 50000 m³ atıksuyu arıtacak şekilde dizayn edilmiştir (Tare ve diğ.,1997).

Kolombiya'nın Bucaramanga kentinde 1990 yılında atıksu arıtma tesisi işletmeye alınmıştır. Sistem iki paralel yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ve fakültatif havuzdan oluşmakta ve günlük 31000 m³ atıksuyu arıtmaktadır. Schellinkhout ve Osorio (1994) tarafından 3 yıllık işletimi araştırılan sistemde %70-77 KOİ giderimi elde edilmiştir. Yukarı akışlı çamur yataklı reaktörde %45-60 KOİ giderimi elde edilmiştir. Tesis işleme alınırken aşılama yapılmamış ve başlangıç periyodu 6 ay sürmüştür. Schellinkhout ve Osorio (1994) tarafından 35 m³'lük pilot ölçekli yukarı akışlı çamur yataklı reaktörün 4 yıl işletiminde elde edilen verilerden sonra bu tesis kurulmuştur.

Brezilya'da 106 lt hacimli yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile umut verici sonuçlar elde edildikten sonra 120 m³ hacimli reaktör dizayn edilip kurulmuştur (Vieira ve Souza, 1986; Vieira, 1988). Bu reaktör 5 yıl boyunca ortam sıcaklıklarında işletilmiştir. 2 mm'ye kadar yuvarlak ve elipsel çamur granülleri gözlenmiştir. 21-25°C sıcaklıklar arasında yapılan çalışmada 265 mg/lt KOİ konsantrasyonuna sahip evsel atıksu için %50 KOİ ve %61 BOİ giderim verimi elde etmişlerdir.

Florencio ve arkadaşları (2001) tarafından Brezilya'nın Recife kentinde kurulan 810 m³ hacime sahip olan tesisin 22-35°C sıcaklıklar arasında performansı araştırılmıştır. 30 aylık araştırma boyunca üç farklı safha oluşmuştur. 3 safhada sırasıyla %70, %80 ve %60-90 KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. İşletme problemlerine rağmen, reaktör performansı denge halini korumuştur. Giriş konsantrasyonundaki büyük değişimlere rağmen (150-750 mgKOİ/lt) KOİ giderim verimi değişmemiştir. Tüm safhalar boyunca giriş ve çıkış pH değerleri ortalama 7,2 değerinde sabit kalmıştır. Atıksudaki bikarbonat alkalinitesi pH değişimini önlemek için yeterli olmuştur. Reaktörde önemli derecede inert katı madde birikmesine rağmen, aktif biyokütlede 0,18 gKOİ/gUAKM.gün'den 0,215 gKOİ/gUAKM.gün'e kadar gelişim gözlenmiştir. Evsel atıksuların yukarı akışlı çamur yataklı reaktörle arıtmı ile ilgili daha önce yapılan çalışmaların özeti Ek A'da tablo halinde verilmektedir.

2.4 Düzenli Depolama Alanlarından Kaynaklanan Sızıntı Suları

Katı atık depo sahasına düşen yağış sularının katı atıkların arasından süzülürken çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar meydana gelir ve inorganik ve organik bileşikler atıktan sızan suya geçer. Filtrasyon ve dispersiyon gibi fiziksel

reaksiyonlar ve uçucu özellikteki bazı bileşiklerin havaya geçmeleri sızıntı suyu kalitesini etkilemektedir. Ayrıca sızıntı suyu oluşumu sırasında, indirgenme yükseltgenme, asit-baz reaksiyonları, emme ve yoğunlaşma-çözünme tepkimeleri gibi kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Atık ayrışmasının temel prosesleri, biyogazın özelliklerini ve sızıntı suyu kalitesini etkiler (Küçükgül, 1999).

2.4.1 Sızıntı suyunun özellikleri

Sızıntı suyu kalitesi; depolama alanındaki katı atığın derinliği ve türü, depolama yaşı, geri devreden sızıntı suyunun oranı, depolama alanı tasarımı ve işletilmesi, sızıntı suyunun çevresel etkileşimi gibi faktörlere bağlı olarak değişir ve çok sayıda bileşen içermektedir.

Depo yaşı, depo sahasındaki anaerobik arıtma kademesine bağlı olarak, sızıntı suyu özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Genç depo alanlarında oluşan sızıntı sularında biyolojik olarak kolay ayrışabilen uçucu yağ asitleri oranı yüksektir. Depo yaşı arttıkça biyolojik ayrışmanın tamamlanmasından dolayı kolay ayrışabilen organik maddelerin oranı düşer. Düzenli depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının özellikleri Tablo 2.1.'de verilmiştir.

2.4.1.1 Genç depo sızıntı suyu özellikleri

Genç depo sızıntı suyu, selüloz gibi kompleks organiklerin ve organik asitler gibi basit çözülmüş organik maddelerin biyolojik olarak indirgenmesinden oluşmaktadır.

Genç sızıntı suları asidik özelliktedir ve pH 6-7 civarındadır. Genç sızıntı suyunda KOİ'nin büyük bir kısmını biyolojik olarak kolay ayrışabilen uçucu yağ asitleri oluşturur ve genç depo alanlarındaki sızıntı sularında BOİ/KOİ>0,5'dir. Ayrıca KOİ/TOK, BOİ/TOK, serbest uçucu yağ asitleri/TOK gibi kimyasal bileşenlerin oranları genç sızıntı sularında daha yüksektir (Tüylüoğlu, 2001).

2.4.1.2 Yaşlı depo sızıntı suyu özellikleri

Biyolojik olarak kolay ayrışabilen organik maddelerin tükenmesi ve gaz oluşumundan dolayı pH 7-8 civarındadır. Yaşlı sızıntı suyunda biyolojik olarak ayrışması zor olan organik maddeler bulunmaktadır. Azot depo yaşınının belirlenmesini sağlayan en önemli indikatördür. Amonyak azotu ve organik azot organik maddelerin biyolojik indirgenmesinden oluşmaktadır ve anaerobik ortamda

sabit ve denge halindedir (Tüylüoğlu, 2001). Genç ve yaşlı sızıntı suyu özellikleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Düzenli depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının özellikleri (Tchobanoglous ve diğ.,1977)

Parametre	Birim	Aralık	Ortalama
BOİ ₅	mg/lt	2000-30000	10000
TOK	mg/lt	1500-20000	6000
KOİ	mg/lt	3000-45000	18000
TKM	mg/lt	200-1000	500
Organik Azot	mg/lt	10-600	200
Amonyak Azotu	mg/lt	10-800	200
Nitrat	mg/lt	5-40	25
Toplam Fosfor	mg/lt	1-70	30
Ortafosfat	mg/lt	1-50	20
Alkalinite	mgCaCO ₃ /lt	1000-10000	3000
pH	-	5,3-8,5	6
Toplam Sertlik	mg/lt	300-10000	3500
Kalsiyum	mg/lt	200-3000	1000
Magnezyum	mg/lt	50-1500	250
Potasyum	mg/lt	200-2000	300
Sodyum	mg/lt	200-2000	500
Klor	mg/lt	100-3000	500
Sülfat	mg/lt	100-1500	300
Toplam Demir	mg/lt	50-600	60

2.4.2 Sızıntı sularının evsel atıksular ile birlikte arıtımı

Sızıntı sularının evsel atıksularla birlikte arıtımı, pratikte kullanılan en önemli kontrol yöntemlerindendir. Herhangi bir ön arıtma uygulanmadan veya kanalizasyona deşarj standartlarını sağlamak amacıyla ön arıtma sonrası, sızıntı suları kanalizasyon sistemine verilerek merkezi evsel atıksu arıtma sisteminde arıtılabilmektedir. Kanalizasyon sistemlerinde, düşük organik kirliliğe sahip evsel atıksuların sızıntı sularıyla karışımında 1000 mg/lt'nin üzerinde KOİ

konsantrasyonlarına ulaşabilmektedir. Bu durumda anaerobik (havasız) arıtma çok uygun bir ön-arıtma alternatifi olarak düşünülmektedir (Öztürk, 2000). Yapılan çalışmalar sonucunda, sızıntı sularının hacimsel olarak %2 oranına kadar evsel atıksu arıtma tesisine doğrudan veya kanal şebekesinin belli bir noktasında verilmesinin merkezi arıtma tesislerine herhangi bir etkisi olmadığını belirtilmektedir (Mc Bean ve diğ., 1995).

Yangın ve arkadaşları (2002) tarafından yapılan çalışmada, evsel atıksuya hacimsel olarak %2 sızıntı suyu karıştırılarak mezofilik şartlarda ($35\pm 2^{\circ}\text{C}$) işletilen yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile anaerobik arıtılabilirliğini araştırmışlardır. 0,76 gün hidrolik bekleme süresi ve $0,63 \text{ kgKOİ/m}^3\cdot\text{gün}$ organik yükleme oranında %58 KOİ giderim verimi elde edilirken, 0,52 gün hidrolik bekleme süresi ve $2 \text{ kgKOİ/m}^3\cdot\text{gün}$ organik yükleme oranında %85 KOİ giderim verimi elde etmişlerdir.

Tablo 2.2 Genç ve yaşlı sızıntı suyu özellikleri (Tchobanoglous ve diğ., 1993)

Parametre	Birim	Genç Sızıntı Suyu (<2yıl)	Yaşlı Sızıntı Suyu (>2yıl)
BOİ ₅	mg/lt	2000-30000	100-200
TOK	mg/lt	1500-20000	80
KOİ	mg/lt	3000-60000	100-500
AKM	mg/lt	200-20000	100-160
Organik Azot	mg/lt	10-800	80-120
Amonyak Azotu	mg/lt	10-800	20-40
Toplam Fosfor	mg/lt	5-100	5-10
Alkalinite	mg/lt	1000-10000	200-1000
pH	-	4,5-7,5	6,6-7,5
Kalsiyum	mg/lt	200-3000	100-400
Magnezyum	mg/lt	50-1500	50-200
Sodyum	mg/lt	200-2500	100-200
Klor	mg/lt	200-3000	100-400
Sülfat	mg/lt	50-1000	20-50
Toplam Demir	mg/lt	50-1200	20-200

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Amaç

Bu bölümde, çalışma süresince kullanılan reaktör ve bu reaktörün performansını izlemek amacıyla günlük olarak alınan numuneler ile yapılan deneyler anlatılmış ve deney sonuçları değerlendirilmiştir.

3.2 Materyal ve Metot

3.2.1 Yukarı akışlı çamur yataklı reaktör

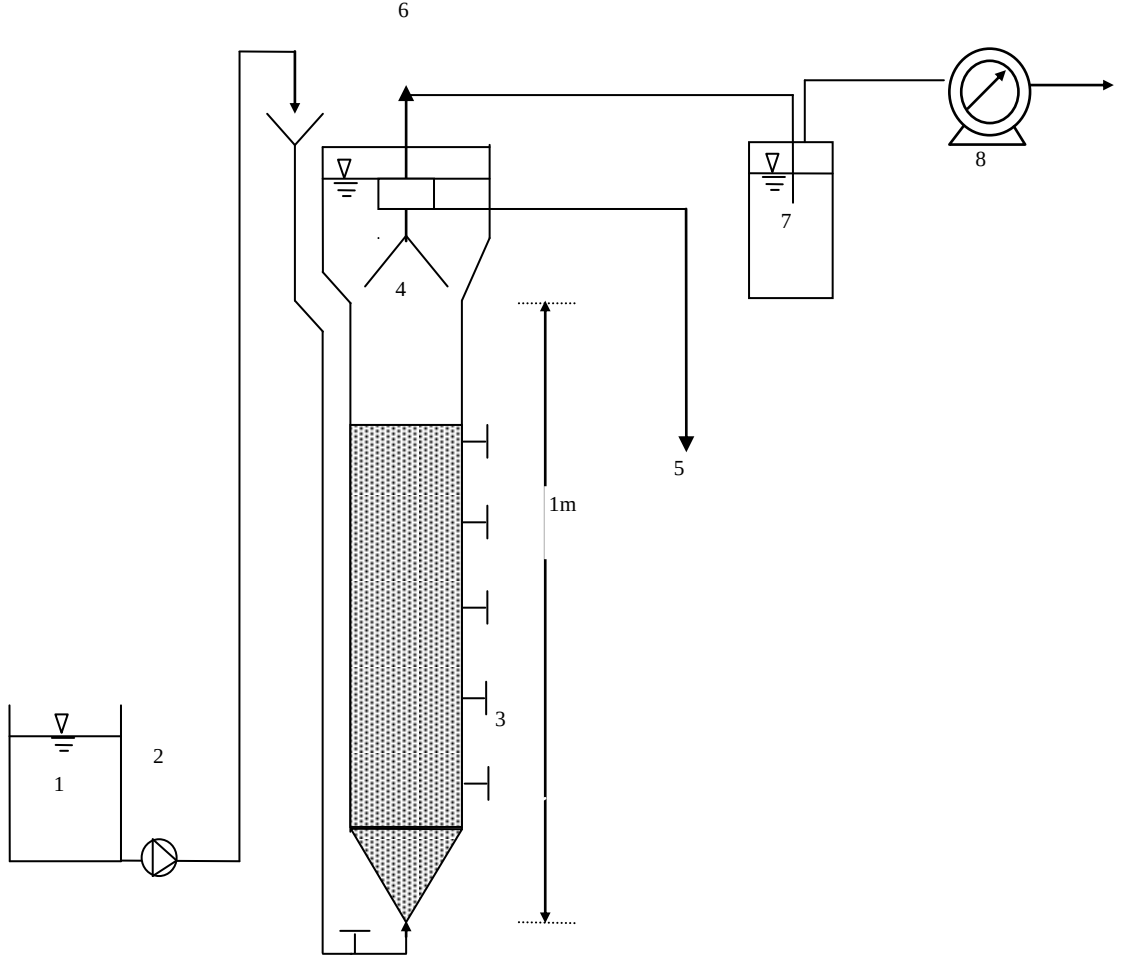
Çalışmada kullanılan yukarı akışlı çamur yataklı reaktörün şematik gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir. Etkili hacmi 6,45 lt olan laboratuvar ölçekli reaktör sürekli sistem olarak işletilmiştir. Reaktör 1 m yükseklikte ve 90 mm çapında pleksicam kolondan oluşmaktadır. Reaktörün üst kısmına özel gaz-sıvı-katı ayırıcı yerleştirilmiştir. Reaktör ilave bir ısı kaynağı ile ısıtılmadan oda sıcaklığında çalıştırılmıştır. Çalışma süresince reaktör içindeki sıcaklık 13-18°C aralığında ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan aşı çamuru Tekel Paşabahçe Rakı Fabrikası’nın mezofilik sıcaklıkta işletilen yukarı akışlı çamur yataklı reaktöründen alınmıştır. Aşı çamurunda UAKM/AKM oranı %88 olarak hesaplanmıştır. Bir önceki çalışmadan kalan aşı çamuruna ilave olarak yeni aşı çamurundan sisteme 1 lt eklenerek reaktörün etkili hacmi başına yaklaşık 12000 mg/lt UAKM konsantrasyonu olması sağlanmıştır.

3.2.2 Kullanılan atıksu kaynağı

3.2.2.1 Evsel atıksu

Bu çalışmada kullanılan reaktör İstanbul Ataköy Arıtma Tesisi terfi merkezinden alınan atıksu ile beslenmiştir. Ataköy Biyolojik Arıtma Tesisi 45000 kişilik nüfusu ile 7650 m³/gün kapasiteye sahiptir. Tesisten çıkan su Ayamama Deresi’ne deşarj edilmektedir. Ataköy Arıtma Tesisi kaba ızgara, ince ızgara, terfi merkezleri, kum tutucu, ön çökeltme havuzu, damlatmalı filtre, son çökeltme havuzu, çamur çürütme haznesi, çamur çürütme tankı, belt-press gibi ünitelerden oluşmaktadır. İstanbul

ilinde yaz-kış, gece-gündüz arasında büyük ısı farkları görülmez. Kandilli Rasathanesinin kaydettiği gözlemlere göre İstanbul'da yılın ortalama sıcaklığı 14°C, Ocak ayı ortalaması -5°C, Temmuz ayı ortalaması, 23°C'dir. İlde ortalama yıllık yağış miktarı ise, 789 mm'dir.



1. Besleme Tankı
2. Besleme Pompası
3. Numune Alma Muslukları
4. Gaz Toplayıcı
5. Çıkış Suyu
6. Gaz Hattı
7. Gaz-Sıvı Ayırıcı
8. Gaz Metre

Şekil 3.1: Çalışmada kullanılan yukarı akışlı çamur yataklı reaktörün şematik görünümü

Çalışma boyunca kullanılan evsel atıksuyun karakterizasyonunun belirlenmesi için Ataköy Arıtma Tesisi'nden getirilen evsel atıksuda haftada bir kez karakterizasyon deneyleri yapılmıştır. Ham atıksuyun karakterizasyonu için toplam KOİ, çöz KOİ, pH, alkalinite, iletkenlik, askıda katı madde, uçucu askıda katı madde, toplam Kjeldahl azotu, amonyak azotu, toplam fosfor ve ortafosfat parametreleri ölçülmüştür.

Çalışmanın birinci kısmında ham atıksu karıştırılarak sisteme beslenmiştir. İkinci kısmında ise ham atıksu besleme tankı içerisinde çöktürülerek beslenmiştir. Ham evsel atıksu ve ön çökeltimden geçmiş evsel atıksuyun karakterizasyonu Tablo 3.1'de verilmiştir.

İşletme süresince reaktörün giriş ve çıkışından alınan numunelerde haftada üç defa toplam KOİ, çöz KOİ, pH, alkalinite, askıda katı madde ve uçucu askıda katı madde parametreleri ölçülmüş, ayrıca reaktördeki sıcaklık, gaz çıkışı ve hidrolik bekleme süresi sürekli olarak izlenmiştir.

Tüm deneyler, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater'da açıklanan yöntemlere göre yapılmıştır (Standard Methods, 1998).

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun özellikleri

Parametre	Birim	Ham Evsel Atıksu	Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel Atıksu
pH	-	7,5	7,1
Alkalinite	mgCaCO ₃ /lt	277	146
Toplam KOİ	mg/lt	232	91
Çöz KOİ	mg/lt	95	76
AKM	mg/lt	143	37
UAKM	mg/lt	89	28
İletkenlik	µmho/cm	1588	2700
TKN	mg/lt	28	23
Amonyak	mg/lt	16	16
Ortafosfat	mg/lt	3	2
Toplam Fosfor	mg/lt	4	3

3.1.2.2 Genç sızıntı suyu

Çalışmanın üçüncü kısmında evsel atıksu karakterinin orta kuvvette bir evsel atıksu karakterini temsil edebilmesi amacıyla genç sızıntı suyu kullanılmıştır. Ayrıca düzenli depolama alanlarında yüksek miktarda üretilen sızıntı sularının belirli oranlarda evsel atıksular ile karıştırılarak kontrolüne yönelik bir çalışma da amaçlanmıştır. Antalya düzenli depolama alanından alınan genç sızıntı suyu %0,9-1 oranında ilave edilerek evsel atıksuyun ön çökeltimden geçmiş KOİ konsantrasyonunun 500-600 mg/lt olması sağlanmıştır. Genç sızıntı suyunun karakterizasyonunu Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Çalışmada kullanılan genç sızıntı suyunun özellikleri

Parametre	Birim	Genç Sızıntı Suyu
pH	-	6,8
Alkalinite	mgCaCO ₃ /lt	4900
Çöktürülmüş toplam KOİ	mg/lt	53100
Çöktürülmüş çöz KOİ	mg/lt	50900
Toplam KOİ	mg/lt	56500
Çöz KOİ	mg/lt	54500
AKM	mg/lt	690
UAKM	mg/lt	470
TKN	mg/lt	2630
Amonyak	mg/lt	2350
Ortafosfat	mg/lt	2
TP	mg/lt	20

Evsel atıksu ve genç sızıntı suyunun karışımında yüksek konsantrasyonlarda AKM gözlenmiştir. Yüksek AKM konsantrasyonları çamur yataklı reaktörlerde yatak içersinde AKM’nin birikimine sebep olarak zamanla sistem veriminde önemli düşüşlere sebep olmaktadır. Ayrıca hidroliz hızının sıcaklık azaldıkça azaldığı, özellikle 15°C’nin altındaki sıcaklık değerlerinde hidroliz aşamasının gerçekleşmesi için uygun bekleme sürelerinde sistemin çalıştırılması gerektiği belirtilmiştir (Elmitwalli, 2000). AKM’nin çamur yatağındaki birikiminin önlenmesi için, ham evsel atıksu ile genç sızıntı suyu karışımı ön-çökeltimden geçmiş ve bu suyun KOİ

konsantrasyonu 500-600 mg/lt olacak şekilde sisteme beslenmiştir. Ön çökeltimden geçmiş ham evsel atıksu ile genç sızıntı suyu karışımının karakterizasyonu Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3: Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + sızıntı suyu özellikleri

Parametre	Birim	Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel + Sızıntı Suyu
pH	-	7,3
Alkalinite	mgCaCO ₃ /lt	353
Toplam KOİ	mg/lt	533
Çöz KOİ	mg/lt	488
AKM	mg/lt	39
UAKM	mg/lt	33
İletkenlik	µmho/cm	2188
TKN	mg/lt	44
Amonyak	mg/lt	37
Ortafosfat	mg/lt	2
TP	mg/lt	4

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Giriş

Çalışmanın işletmeye alma döneminde yukarı akışlı çamur yataklı reaktörün içerisinde hazır bulunan aşı çamurundaki UAKM konsantrasyonu ölçülmüş ve reaktörün m³ hacmi başına çok düşük biyokütle konsantrasyonu tespit edilmiştir. Bu sebeple reaktörün etkili hacmi başına ilave edilmesi gereken aşı çamuru hesaplanmış ve taze aşı çamuru İstanbul Tekel Rakı Fabrikası'nın mezofilik yukarı akışlı çamur yataklı reaktöründen alınarak sisteme aşılanmıştır. Sisteme ham evsel atıksu beslenmeye başlamadan önce, evsel atıksuyu temsil eden sentetik bir atıksu hazırlanarak mezofilik (35±2°C) reaktörden alınan aşı çamurunun oda sıcaklık değerlerine alıştırılması sağlanmıştır. Bu aşamada sistem 12 saat hidrolik bekleme süresinde çalıştırılmış ve sabit gaz çıkışı ve çıkış KOİ değerleri elde edilmeye başlandıktan sonra sistem ham evsel atıksu ile beslenmeye başlanmıştır. Sentetik evsel atıksuyun anaerobik arıtımı sırasında ortalama toplam KOİ ve çöz KOİ giderimleri sırasıyla %74 ve %81 olarak gözlenmiştir. Ayrıca bu aşamada giriş ve çıkış pH değerlerinin ortalaması sırasıyla 7,1 ve 7,5 olarak, giriş ve çıkış alkalinite değerlerinin ortalaması ise sırasıyla 87 ve 104 mg CaCO₃/lt olarak ölçülmüştür.

Çalışma ham evsel atıksuyun reaktöre beslenmesiyle devam etmiştir. Birinci aşamada, evsel atıksu besleme tankı içerisinde karıştırılarak sisteme beslenmiş ve gerekli parametreler incelenerek sistem performansı araştırılmıştır. İkinci aşamada ise, besleme tankındaki karıştırıcı durdurularak ham evsel atıksuyun tank içerisinde çökeltmesi sağlanmış ve üst su sisteme beslenmiştir. Çalışmada kullanılan evsel atıksuyun düşük KOİ konsantrasyonuna sahip zayıf karakterdeki evsel atıksuları temsil ettiği anlaşılmıştır. Bu sebeple çalışmanın üçüncü ve son aşamasında, evsel atıksuya ~%1 oranında genç sızıntı suyu ilave edilerek ön-çökeltilmiş kısmın KOİ konsantrasyonunun 500-600 mg/lt'ye yükseltilmesi amaçlanmış ve orta kirlikte bir evsel atıksuyu temsil eden bir atıksuyun düşük sıcaklık değerlerinde havasız arıtımı

sırasındaki sistem performansı araştırılmıştır. Tablo 4.1’de işletme süresi boyunca genel işletme koşulları verilmiştir.

Tablo 4.1: Genel işletme koşulları

Zaman Aralığı	Sıcaklık (°C)	θ_h (sa)	F/M (kgKOİ/kgUAKM.g)	L_v (kgKOİ/m ³ .g)	L_H (m ³ /m ³ .g)
17-51	15-18 (16)	12	0,01-0,02 (0,02)	0,4-0,6 (0,5)	1,9-2,2 (2)
52-81	13-16 (16)	8	0,001-0,009 (0,007)	0,2-0,3 (0,3)	2,9-3,2 (3)
82-116	13-17 (16)	10	0,04-0,05 (0,05)	1,1-1,4 (1,3)	2,2-2,6 (2,4)

() içindeki değerler ortalama değerler

4.2 Ham Evsel Atıksu (Karıştırılmış) ile Yapılan Çalışma

17. ve 51. günler arası sistem, karıştırılmış evsel atıksu ile 12 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmiştir. Çalışma sonucunda ölçülen parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

4.2.1 Organik madde giderimi

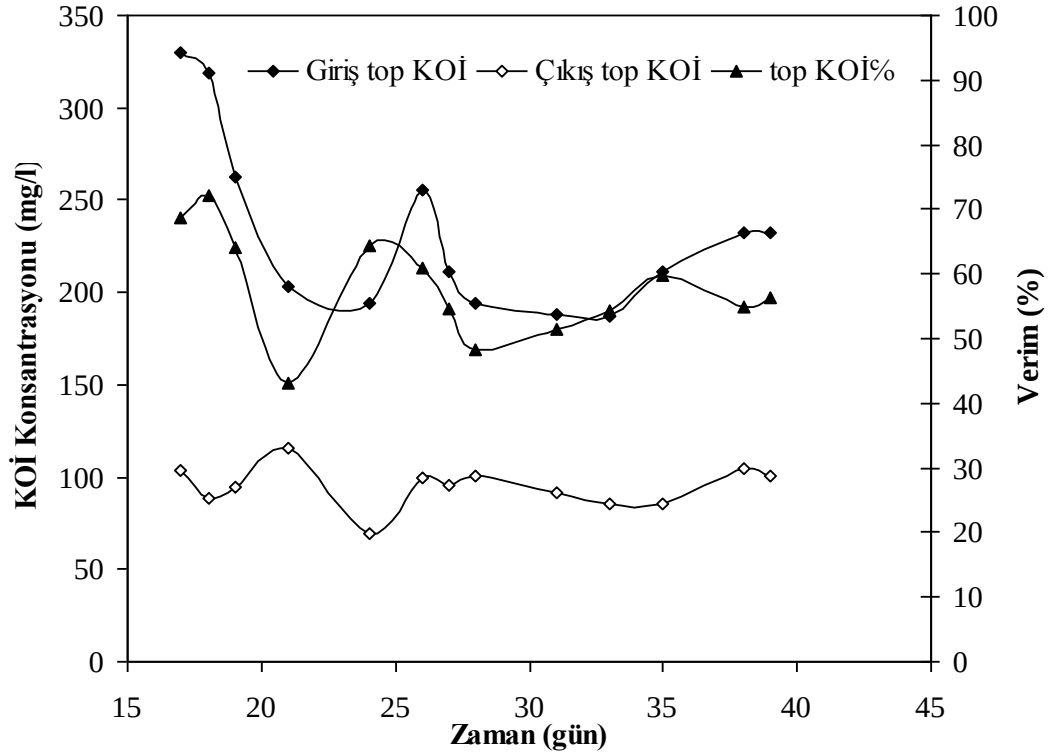
Karıştırılarak verilen evsel atıksuyun yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile toplam KOİ giderim verimi ortalama %58 (43-72) ve çözünmüş KOİ giderim verimi ise ortalama %32 (19-45) olarak bulunmuştur (θ_h = 12 saat). Giriş toplam KOİ 188-330 mg/l (ortalama 232 mg/l) arasında değişim gösterirken çıkış toplam KOİ 70-116 mg/l (ortalama 95 mg/l) arasında değişim göstermiştir. Giriş çözünmüş KOİ ise 85-114 mg/l (ortalama 95 mg/l) arasında değişim gösterirken çıkış çözünmüş KOİ 52-79 mg/l (ortalama 65 mg/l) arasında değişim göstermiştir. Giriş toplam KOİ değerleri salınım göstermesine rağmen çıkıştaki toplam KOİ değerlerinde fazla değişim görülmemiştir. Diğer taraftan giriş çözünmüş KOİ değerlerinin salınımları çıkış çözünmüş KOİ değerlerinde de görülmektedir. Genel olarak KOİ giderimi askıda katı maddelerin çamur yatağında fiziksel işlemler ile alıkonulmasından kaynaklanmıştır. Giriş ve çıkış toplam KOİ konsantrasyonun ve veriminin zamanla

değişimi ve giriş ve çıkış çözünmüş KOİ konsantrasyonun ve veriminin zamanla değişimi sırasıyla Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.

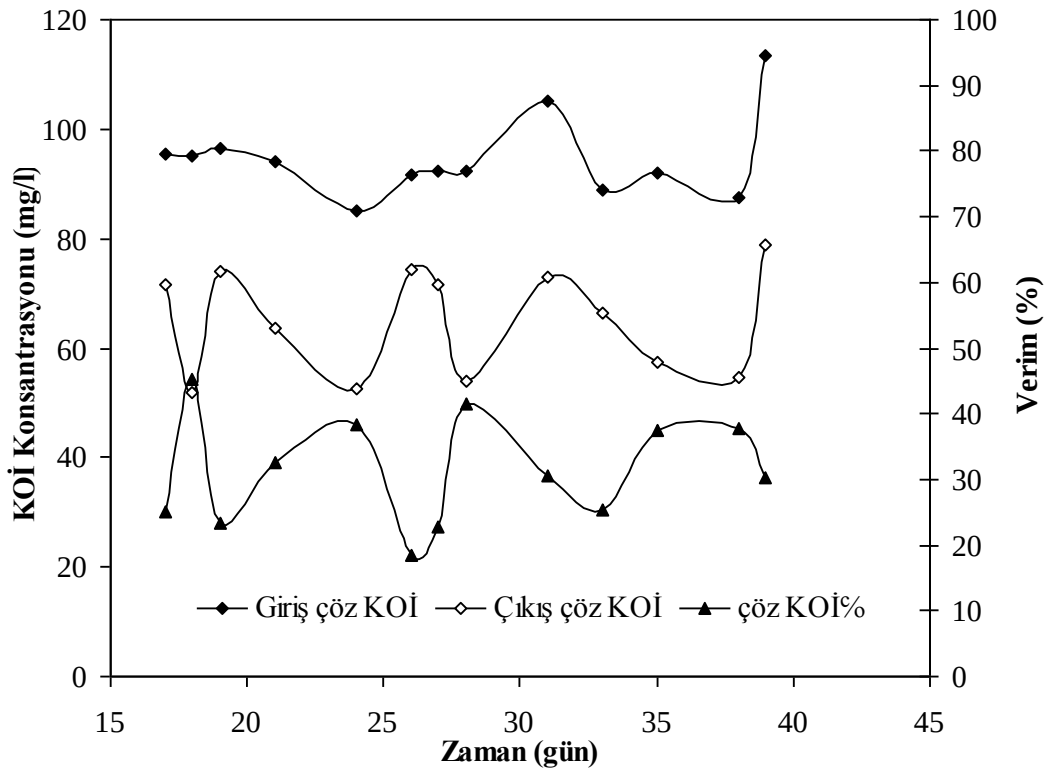
Tablo 4.2: Ham evsel atıksu ile yapılan çalışmada elde edilen parametre değerleri

Ham atıksu $Q = 12,9$ l/gün, $\theta_h = 12$ saat, 17-51 gün

Parametre	Maksimum	Minimum	Ortalama
Giriş toplam KOİ (mg/lt)	330	188	232
Çıkış toplam KOİ (mg/lt)	116	70	95
Toplam KOİ verimi (%)	72	43	58
Giriş çöz KOİ (mg/lt)	114	85	95
Çıkış çöz KOİ (mg/lt)	79	52	65
Çöz KOİ verimi (%)	45	19	31
Giriş pH	7,9	7,1	7,5
Çıkış pH	8,0	7,2	7,6
Giriş Alkalinite (mg/lt)	365	175	277
Çıkış Alkalinite (mg/lt)	345	225	275
Giriş AKM (mg/lt)	230	100	142
Çıkış AKM (mg/lt)	27	7	15
Giriş UAKM (mg/lt)	171	71	104
Çıkış UAKM (mg/lt)	23	5	12



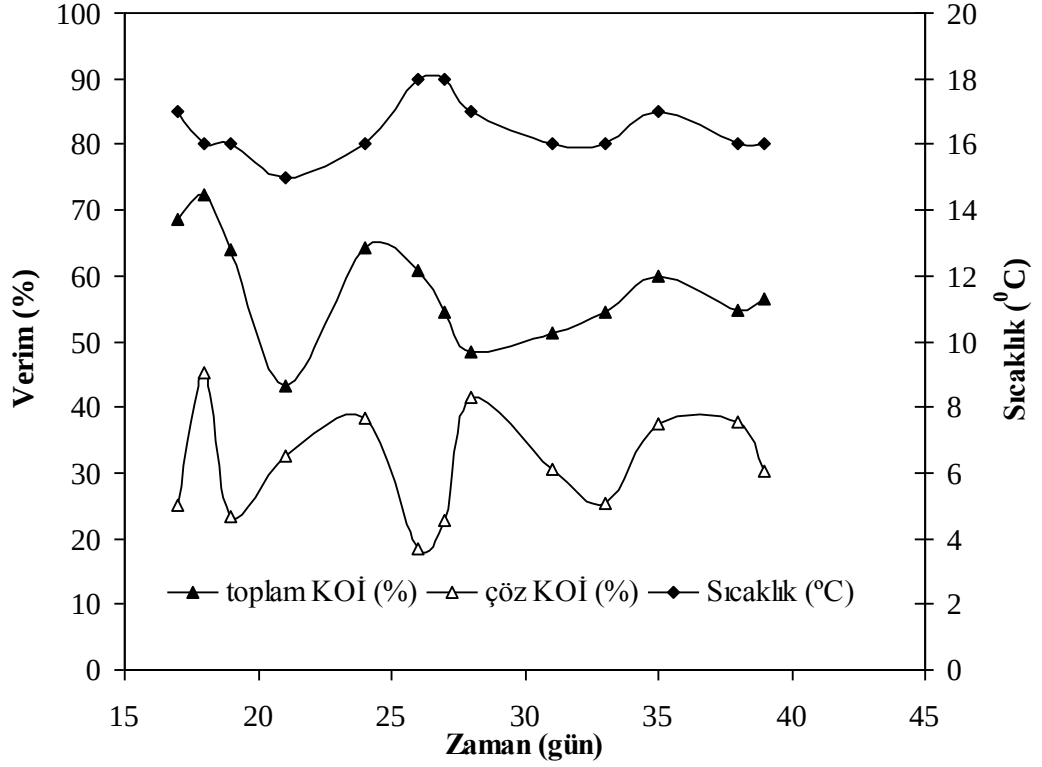
Şekil 4.1: Giriş ve çıkış toplam KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ham evsel atıksu)



Şekil 4.2: Giriş ve çıkış çözünmüş KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ham evsel atıksu)

4.2.2. Sıcaklık

Çalışma süresince yukarı akışlı çamur yataklı reaktörün sıcaklığı için ilave bir ısıtma yapılmamıştır. Reaktör atıksu sıcaklığı 15-18°C arasında değişmiştir. Şekil 4.3’de KOİ giderim veriminde sıcaklığın etkisi görülmektedir.

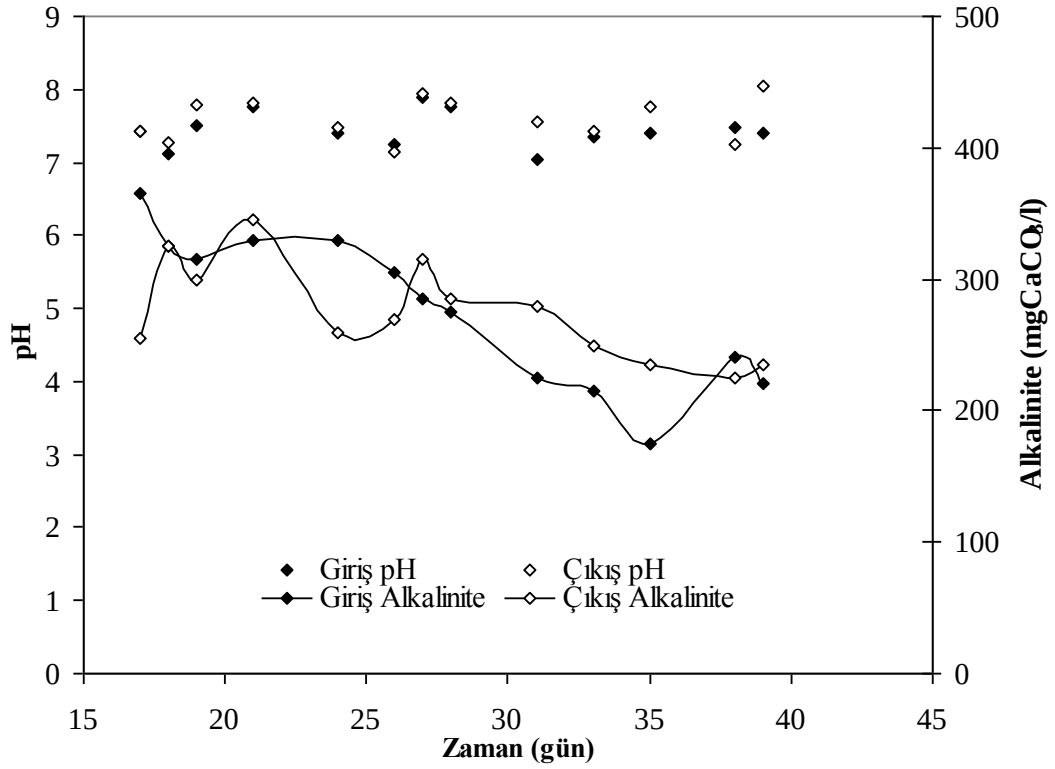


Şekil 4.3: KOİ giderim veriminin sıcaklık ile değişimi (ham evsel atıksu)

4.2.3 pH ve alkalinite

Anaerobik arıtma proseslerinin kararlılığının en önemli göstergelerinden olan pH ve alkalinite çalışma süresince sürekli olarak izlenmiştir. pH ve alkalinite ölçümü ile reaktörün fizikokimyasal durumu kontrol edilmiştir. Çalışmada reaktördeki pH ve alkalinite miktarını dengelemek için kimyasal madde ilavesine gerek duyulmamıştır. Reaktörün çıkışındaki pH ve alkalinite değerleri giriş akımındaki pH ve alkalinite değerlerine göre çok az oranlarda artış göstermesine rağmen pH ve alkalinite değerleri reaktör açısından kritik seviyelere ulaşmamıştır. Giriş pH değerleri 7,1-7,9 arasında değişim gösterirken, çıkış pH değerleri 7,1-8,0 arasında değişim göstermiştir. Giriş alkalinite değerleri 175-365 mgCaCO₃/lt arasında değişim gösterirken, çıkış alkalinite değerleri 225-345 mgCaCO₃/lt arasında değişim

göstermiştir. Reaktör giriş ve çıkışındaki pH ve alkalinite değerleri Şekil 4.4’de verilmiştir.

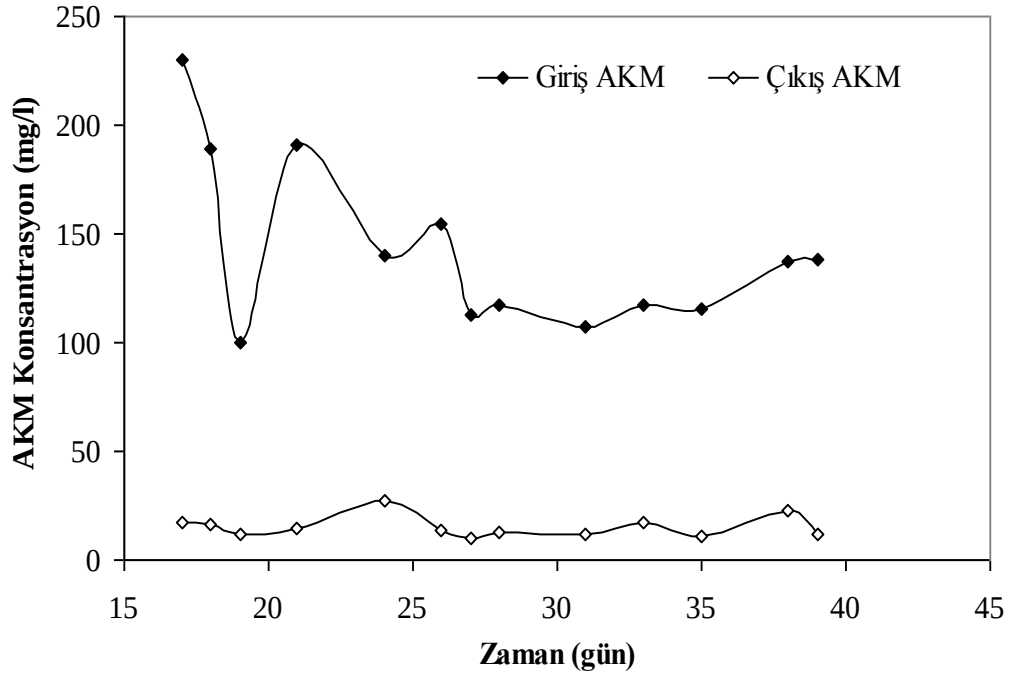


Şekil 4.4: Giriş ve çıkışındaki pH ve alkalinite değerleri (ham evsel atıksu)

4.2.4 Askıda katı madde

Giriş AKM konsantrasyonu 100-230 mg/l (ortalama 142 mg/l) arasında değişim gösterirken, çıkış AKM konsantrasyonu 7-27 mg/l (ortalama 15 mg/l) arasında değişim göstermiştir. Toplam KOİ giderim verimi askıda katı maddenin reaktördeki çamur yatağı tarafından tutulmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çıkış AKM konsantrasyonunun giriş AKM konsantrasyonundan etkilenmediği görülmektedir. Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 4.5’de verilmiştir.

Düşük sıcaklıklarda evsel atıksuların anaerobik arıtımında, düşük hidroliz oranı anaerobik reaktörde AKM birikimine neden olmaktadır. Anaerobik reaktörde AKM birikimi metanojenik aktiviteye ve reaktör performansına zarar vermektedir (Elmitwalli ve diğ., 2001).



Şekil 4.5: Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarının zamanla değişimi (ham evsel atıksu)

4.2.5 Biyokütle

Reaktördeki biyokütle dağılımını belirlemek için, ham evsel atıksu ile işletme dönemi sonunda (51. gün) reaktörün 5 farklı seviyesinden alınan çamur numuneleri ile AKM ve UAKM deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre çamurun 3. seviyede daha yoğun olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3: Reaktör içindeki çamurun farklı yüksekliklerdeki konsantrasyonu (ham evsel atıksu)

Numune Musluğu Yüksekliği (mm)	AKM (mg/l)	UAKM (mg/l)	UAKM/AKM (%)
840	57	40	71
680	63	43	68
520	49300	33800	69
360	39150	27910	71
200	29650	23670	80

4.2.6 Biyogaz üretimi

Evsel atıksuyun anaerobik arıtımında açığa çıkan biyogaz miktarı çok düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin;

(1) ayrıştırılan organik madde miktarının az olmasından

(2) üretilen biyogazın büyük miktarı çıkış suyu içerisinde çözünmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sıcaklığın azalması ile gazların sudaki çözünürlüğünün artmasından dolayı çıkış suyu içerisinde daha fazla karbon dioksit çözülerek üretilen biyogaz içerisindeki karbon dioksit oranı azalması görüşüne ulaşılmasına yol açmıştır. Bu çalışma süresince elde edilen biyogaz miktarı oldukça düşük olduğu için üretilen biyogaz miktarı belirtilmemiştir.

4.3 Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel Atıksu ile Yapılan Çalışma

52. ve 82. günler arası sistem, ön çökeltimden geçirilmiş evsel atıksu ile 8 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmiştir. Çalışma sonucunda ölçülen parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

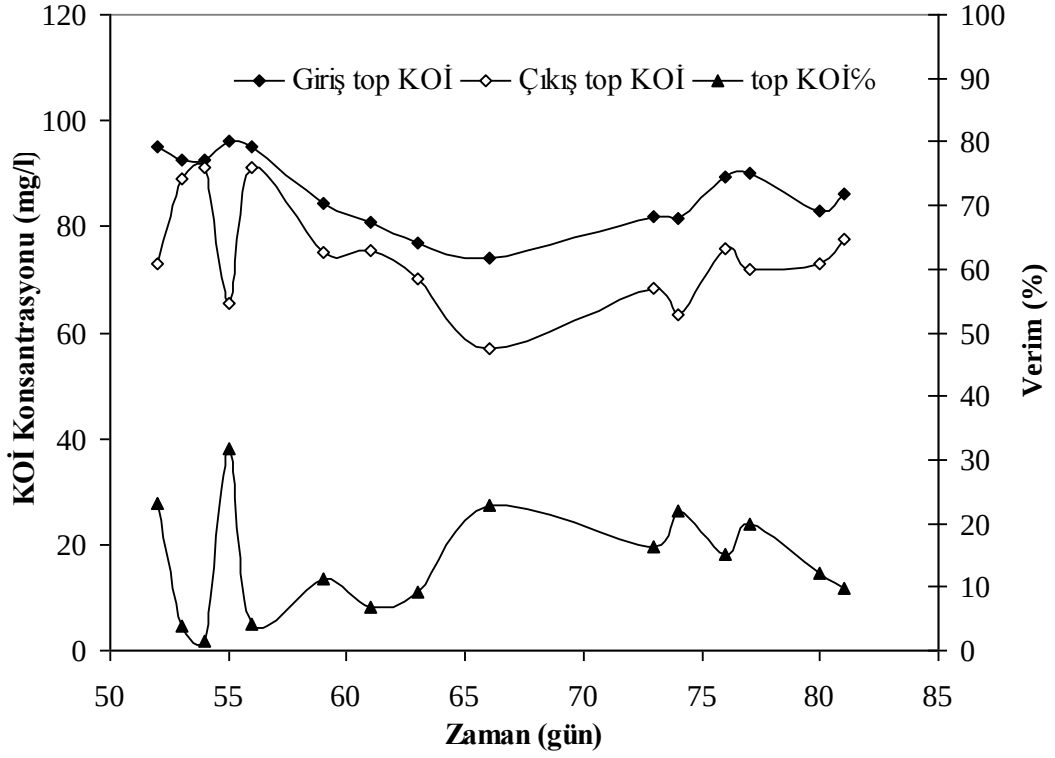
4.3.1 Organik madde giderimi

Ön çökeltimden geçirilerek verilen evsel atıksuyun yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile toplam KOİ giderim verimi ortalama %14 (2-37) ve çözünmüş KOİ giderim verimi ise ortalama %37 (12-67) olarak bulunmuştur ($\theta_h = 8$ saat). Giriş toplam KOİ 74-96 mg/l (ortalama 91 mg/l) arasında değişim gösterirken çıkış toplam KOİ 57-91 mg/l (ortalama 77 mg/l) arasında değişim göstermiştir. Giriş çözünmüş KOİ ise 59-88 mg/l (ortalama 76 mg/l) arasında değişim gösterirken çıkış çözünmüş KOİ 27-64 mg/l (ortalama 48 mg/l) arasında değişim göstermiştir. Atıksuyun ön çökeltimden geçirilmesi ile giriş toplam KOİ konsantrasyonunda önemli derecede azalma olmasından dolayı toplam KOİ giderim veriminin düştüğü görülmüştür. Ancak çözünmüş KOİ giderim verimi artış görülmüştür. Giriş ve çıkış toplam KOİ konsantrasyonun ve veriminin zamanla değişimi ve giriş ve çıkış çözünmüş KOİ konsantrasyonun ve veriminin zamanla değişimi sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

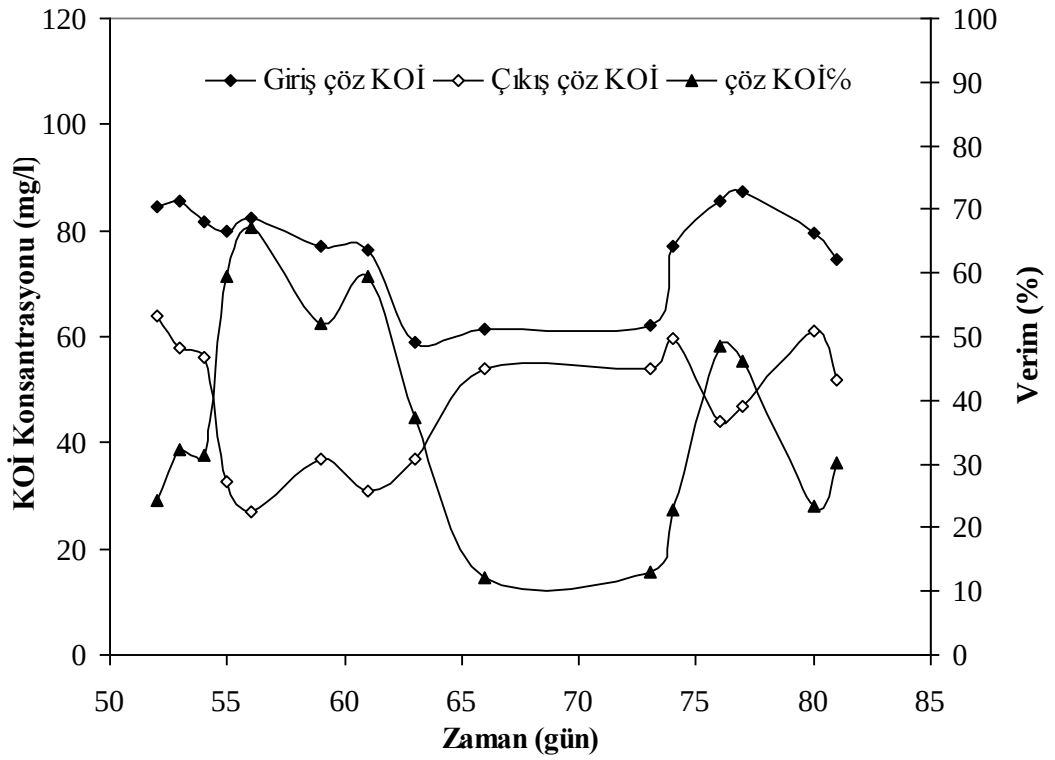
Tablo 4.4: Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu ile yapılan çalışmada elde edilen parametre değerleri

Ham atıksu $Q = 19,4$ lt/gün, $\theta_h = 8$ saat, 52-81 gün

Parametre	Maksimum	Minimum	Ortalama
Giriş toplam KOİ (mg/lt)	96	74	91
Çıkış toplam KOİ (mg/lt)	91	57	77
Toplam KOİ verimi (%)	37	2	14
Giriş çöz KOİ (mg/lt)	88	59	76
Çıkış çöz KOİ (mg/lt)	64	27	48
Çöz KOİ verimi (%)	67	12,2	37
Giriş pH	7,9	6,4	7,1
Çıkış pH	8,2	6,9	7,4
Giriş Alkalinite (mg/lt)	390	200	260
Çıkış Alkalinite (mg/lt)	335	225	282
Giriş AKM (mg/lt)	31	11	20
Çıkış AKM (mg/lt)	19	5	10
Giriş UAKM (mg/lt)	30	8	17
Çıkış UAKM (mg/lt)	21	5	11



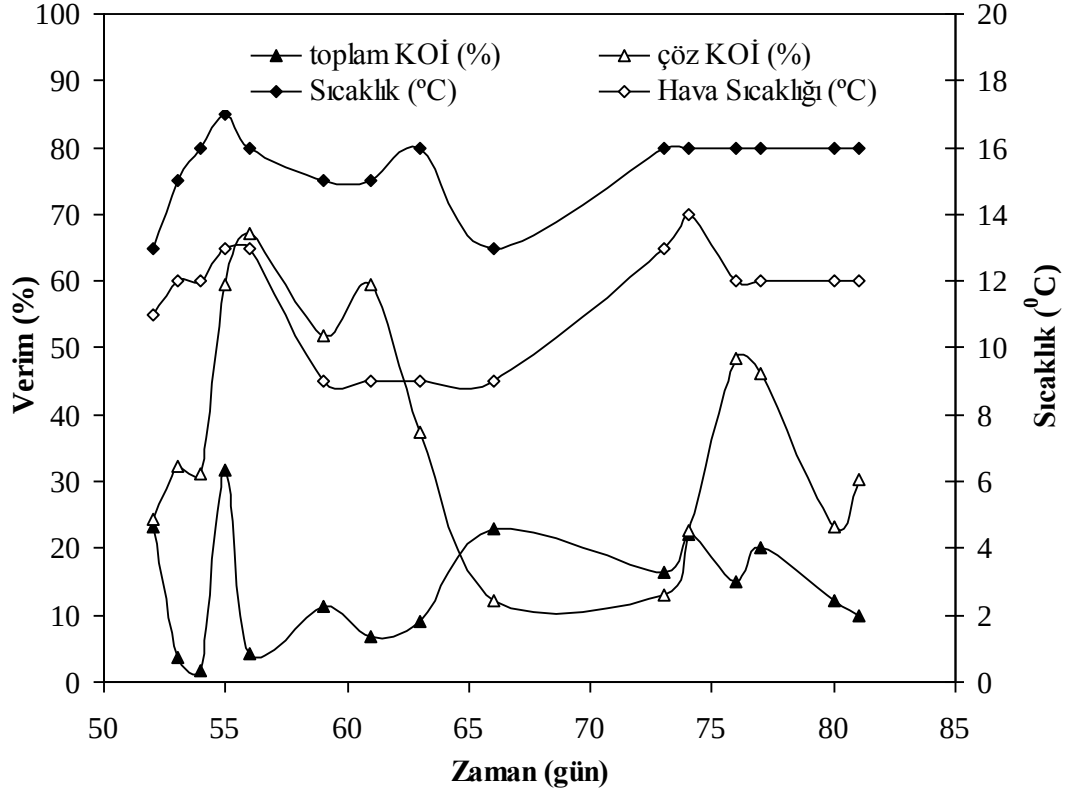
Şekil 4.6: Giriş ve çıkış toplam KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)



Şekil 4.7: Giriş ve çıkış çözülmüş KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)

4.3.2 Sıcaklık

Çalışma süresince reaktörün sıcaklığı için ilave bir ısıtma yapılmamıştır. Reaktör atıksu sıcaklığı 13-17°C arasında değişim gösterirken hava sıcaklığı 9-14°C arasında değişim göstermiştir. Atıksuyun sıcaklığı hava sıcaklığından 2-4°C daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.8’de KOİ giderim verimine sıcaklığın etkisi görülmektedir.

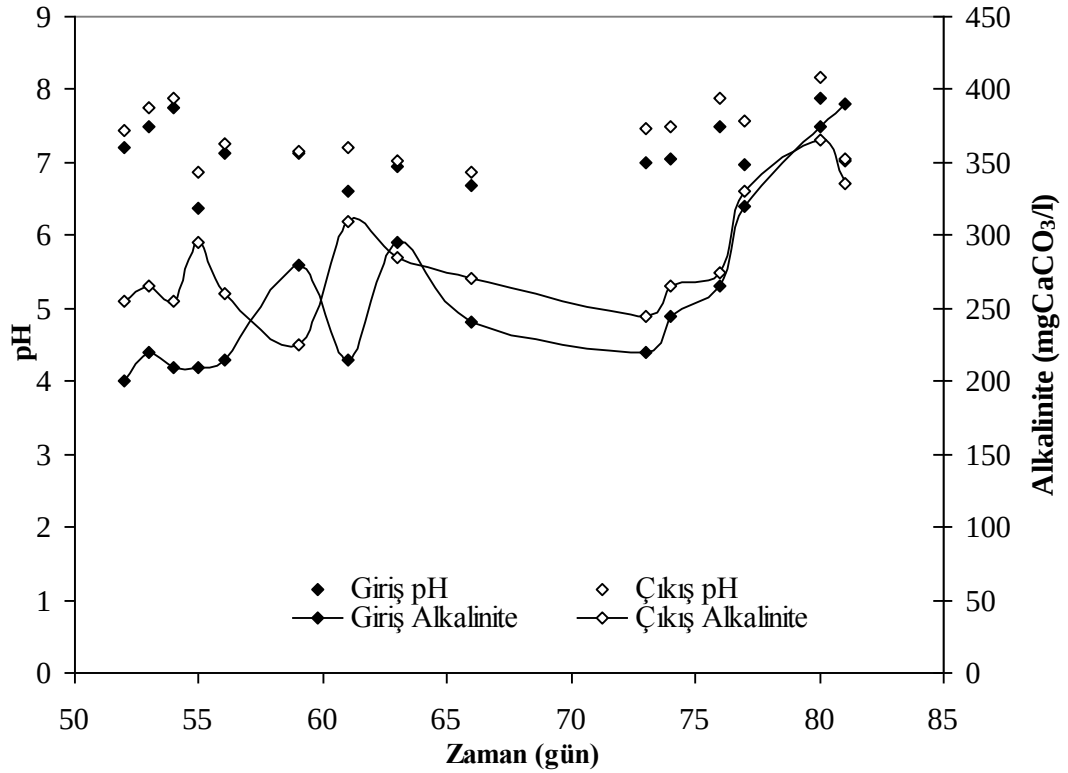


Şekil 4.8: KOİ giderim veriminde sıcaklığın etkisi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)

4.3.3 pH ve alkalinite

Çalışmada reaktördeki pH ve alkalinite miktarını dengelemek için kimyasal madde ilavesi yapılmamıştır. Reaktörün çıkışındaki pH ve alkalinite değerleri giriş akımındaki atıksuyun pH ve alkalinite değerleri birbirine çok yakın değerlerde ölçülmüştür. pH ve alkalinite değerleri reaktör açısından kritik seviyelere ulaşmamıştır. Giriş pH değerleri 6,4-7,9 arasında değişim gösterirken, çıkış pH değerleri 6,9-8,2 arasında değişim göstermiştir. Giriş alkalinite değerleri 200-390 mgCaCO₃/lt arasında değişim gösterirken, çıkış alkalinite değerleri 225-335

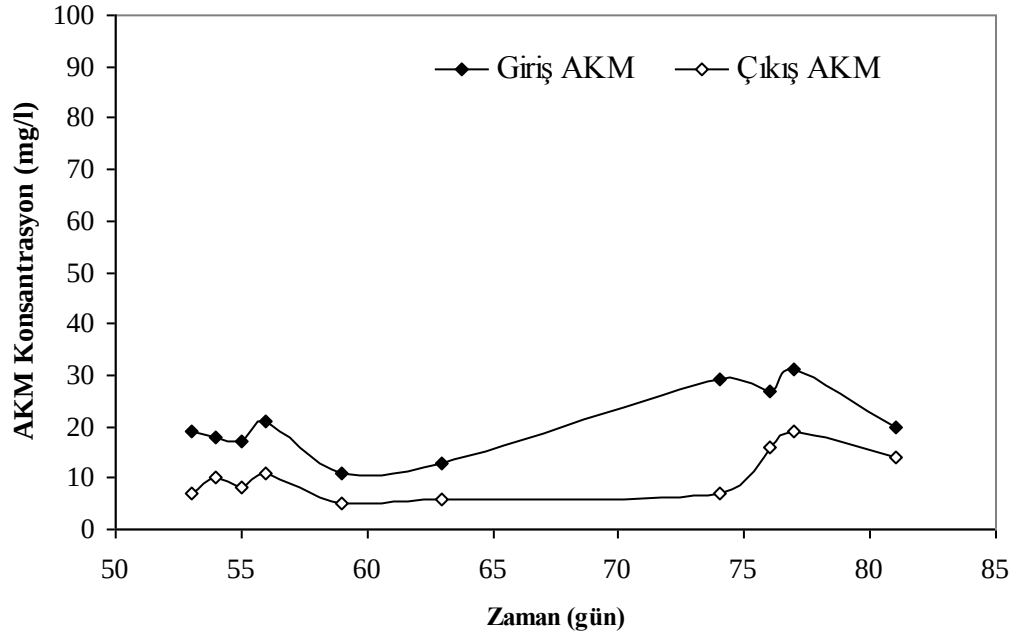
mgCaCO₃/lt arasında değişim göstermiştir. Reaktör giriş ve çıkışındaki pH ve alkalinite değerleri Şekil 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.9: Reaktör giriş ve çıkışındaki pH ve alkalinite değerleri (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)

4.3.4 Askıda katı madde

Ham evsel atıksu besleme tankı içerisinde ön çökeltimden geçirilerek AKM konsantrasyonun önemli derecede giderimi sağlanmışır. Bu yüzden reaktör giriş AKM konsantrasyonu önemli derecede düşmüştür. Giriş AKM konsantrasyonu 11-31 mg/lt (ortalama 20 mg/lt) aralığında değişim gösterirken, çıkış AKM konsantrasyonu 5-19 mg/lt (ortalama 10 mg/lt) aralığında değişim göstermiştir. Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.10: Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarının zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)

4.3.5 Biyokütle

Ön çökeltimden geçirilmiş evsel atıksu ile işletme dönemi sonunda (81. gün) reaktörün 5 farklı seviyesinden alınan çamur numuneleri ile AKM ve UAKM deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre çamur reaktörün en alt seviyesinde daha yoğundur. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.5: Reaktör içindeki çamurun farklı yüksekliklerdeki konsantrasyonu (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu)

Numune Musluğu Yüksekliği (mm)	AKM (mg/lt)	UAKM (mg/lt)	UAKM/AKM (%)
840	20	16	84
680	23	17	72
520	370	206	56
360	36960	33170	90
200	41460	35010	84

4.3.6 Biyogaz üretimi

Ön-çökeltimden geçirilmiş evsel atıksu ile yapılan çalışma süresince giriş KOİ değerinin ve reaktör içersindeki sıcaklığın düşük olması, üretilen gazın büyük bir kısmının çıkış suyunda çözülmüş olarak bulunmasından dolayı önemli miktarda gaz çıkışı gözlenmemiştir.

4.4 Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel Atıksu + Genç Sızıntı Suyu ile Yapılan Çalışma

82. ve 115. günler arası sistem, ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu ile 10 saat hidrolik bekleme süresinde işletilmiştir. Çalışma sonucunda ölçülen parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri Tablo 4.6.'da verilmiştir

4.4.1 Organik madde giderimi

Ön çökeltimden geçirilerek verilen evsel atıksu + genç sızıntı suyunun yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile toplam KOİ giderim verimi ortalama %61 (53-68) ve çözülmüş KOİ giderim verimi ise ortalama %67 (60-77) olarak bulunmuştur ($\theta_h = 10$ saat). Giriş toplam KOİ 481-582 mg/l (ortalama 533 mg/l) arasında değişim gösterirken çıkış toplam KOİ 171-256 mg/l (ortalama 206 mg/l) arasında değişim göstermiştir. Giriş çözülmüş KOİ ise 393-541 mg/l (ortalama 488 mg/l) arasında değişim gösterirken çıkış çözülmüş KOİ 123-209 mg/l (ortalama 159 mg/l) arasında değişim göstermiştir. Giriş toplam ve çözülmüş KOİ değerlerinde salınım olmasına rağmen, çıkış toplam ve çözülmüş KOİ değerleri bu salınımlardan fazla etkilenmemiştir. Giriş ve çıkış toplam KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi Şekil 4.11'de verilmiştir. Ayrıca giriş ve çıkış çözülmüş KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi Şekil 4.12'de verilmiştir.

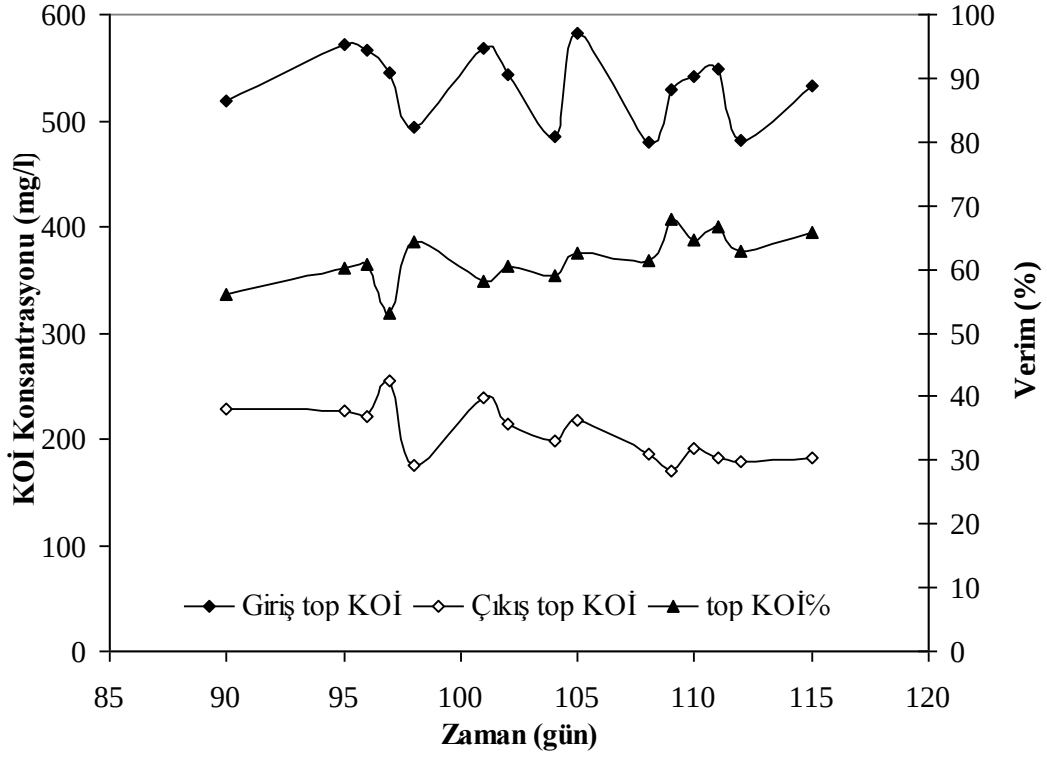
4.4.2 Sıcaklık

Çalışma süresince reaktörün sıcaklığı için ilave bir ısıtma yapılmamıştır. Reaktör atıksu sıcaklığı 13-17°C arasında değişim gösterirken hava sıcaklığı 8-13°C arasında değişim göstermiştir. Atıksuyun sıcaklığı hava sıcaklığından 6-7°C daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.13'de KOİ giderim veriminde sıcaklığın etkisi görülmektedir.

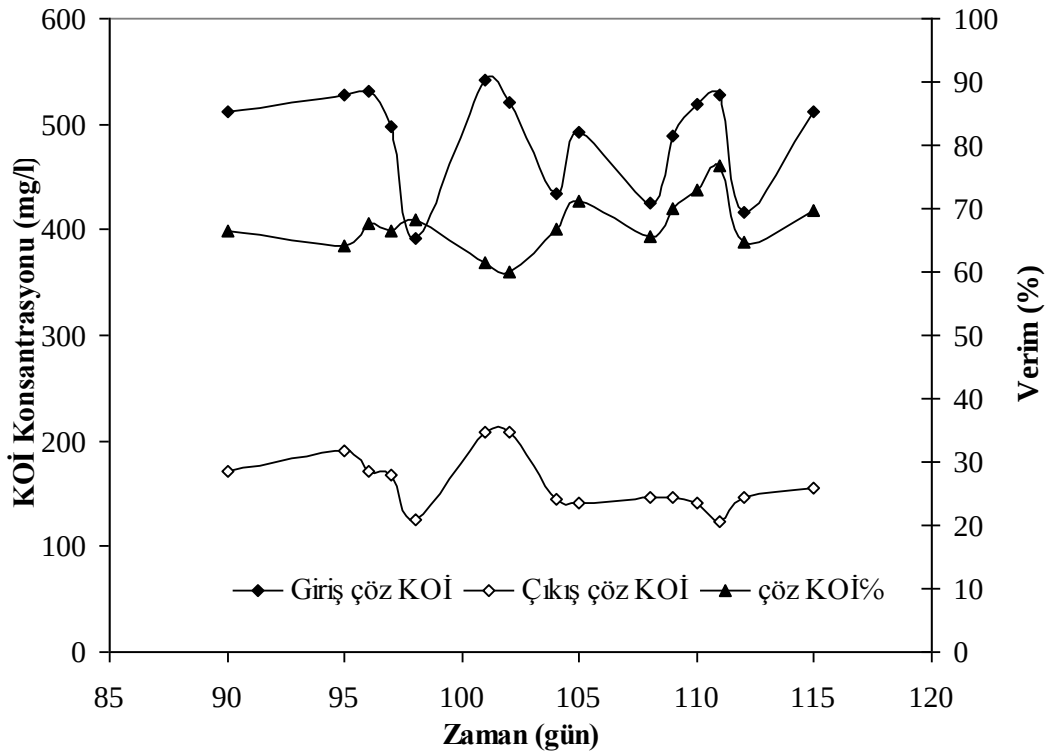
Tablo 4.6: Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu ile yapılan çalışmada elde edilen parametrelerin aldığı değerler

Ham atıksu $Q = 15,5$ lt/gün, $\theta_h = 10$ saat, 82.-115. gün

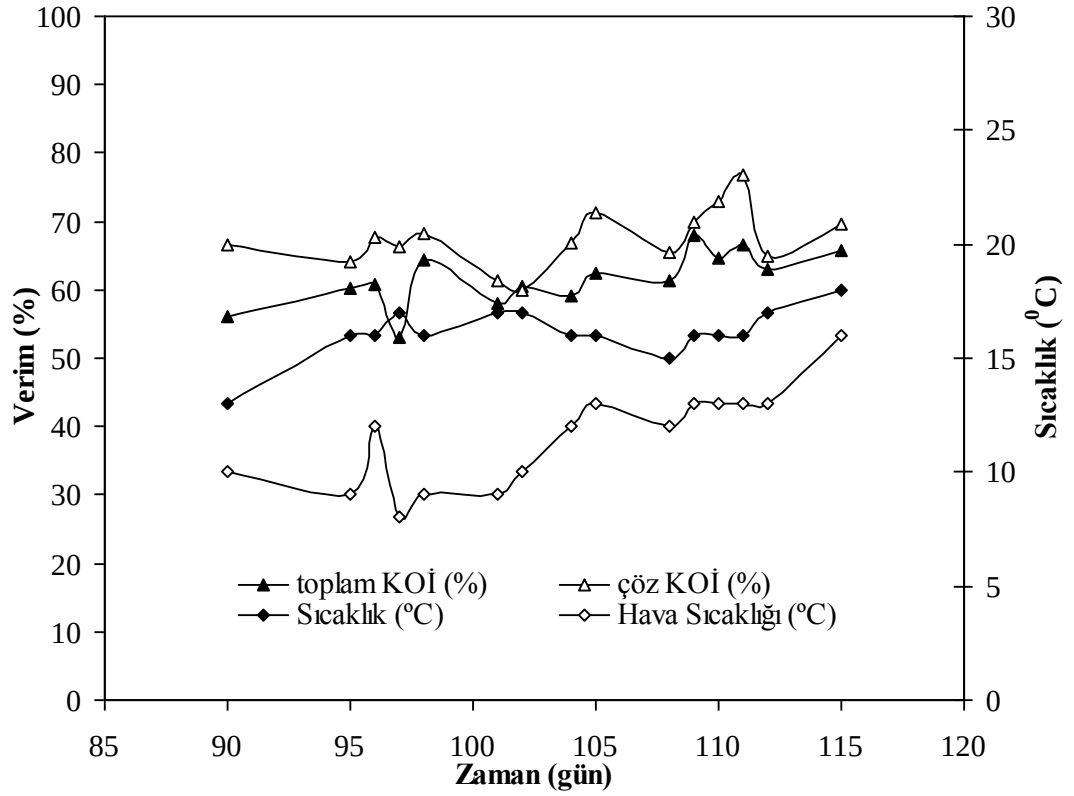
Parametre	Maksimum	Minimum	Ortalama
Giriş toplam KOİ (mg/lt)	582	481	533
Çıkış toplam KOİ (mg/lt)	256	171	206
Toplam KOİ verimi (%)	68	53	61
Giriş çöz KOİ (mg/lt)	541	393	488
Çıkış çöz KOİ (mg/lt)	209	123	159
Çöz KOİ verimi (%)	77	60	67
Giriş pH	7,9	6,7	7,3
Çıkış pH	8,2	7,0	7,7
Giriş Alkalinite (mg/lt)	510	295	353
Çıkış Alkalinite (mg/lt)	565	360	438
Giriş AKM (mg/lt)	59	32	46
Çıkış AKM (mg/lt)	41	19	27
Giriş UAKM (mg/lt)	53	25	39
Çıkış UAKM (mg/lt)	39	12	22



Şekil 4.11: Giriş ve çıkış toplam KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)



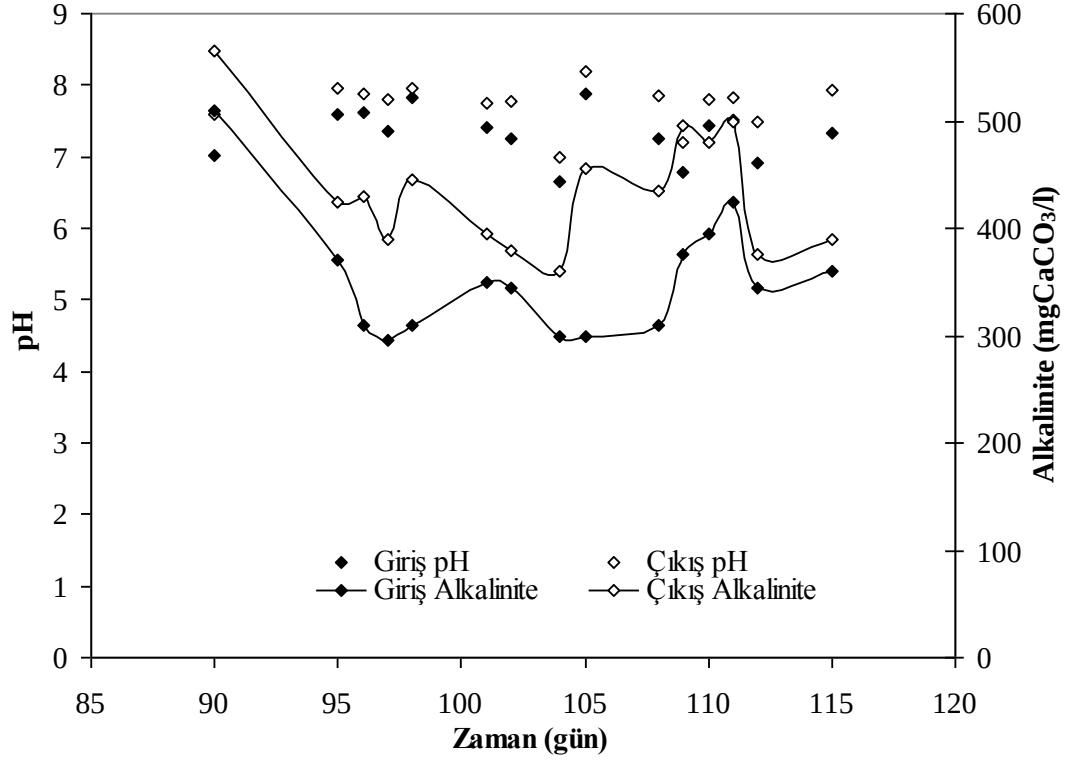
Şekil 4.12: Giriş ve çıkış çözünmüş KOİ konsantrasyonunun ve veriminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)



Şekil 4.13: KOİ giderim veriminde sıcaklığın etkisi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)

4.4.3 pH ve alkalinite

Çalışmada reaktördeki pH ve alkalinite miktarını dengelemek için kimyasal madde ilavesine gerek duyulmamıştır. Çıkış pH ve alkalinite değerleri giriş pH ve alkalinite değerlerinden daha yüksek bulunmasına rağmen kritik seviyelere ulaşmamıştır. Giriş pH değerleri 6,7-7,9 arasında değişim gösterirken, çıkış pH değerleri 7,0-8,2 arasında değişim göstermiştir. Giriş alkalinite değerleri 295-510 mgCaCO₃/lt arasında değişim gösterirken, çıkış alkalinite değerleri 360-565 mgCaCO₃/lt arasında değişim göstermiştir. Reaktör giriş ve çıkışındaki pH ve alkalinite değerleri Şekil 4.14’de verilmiştir.



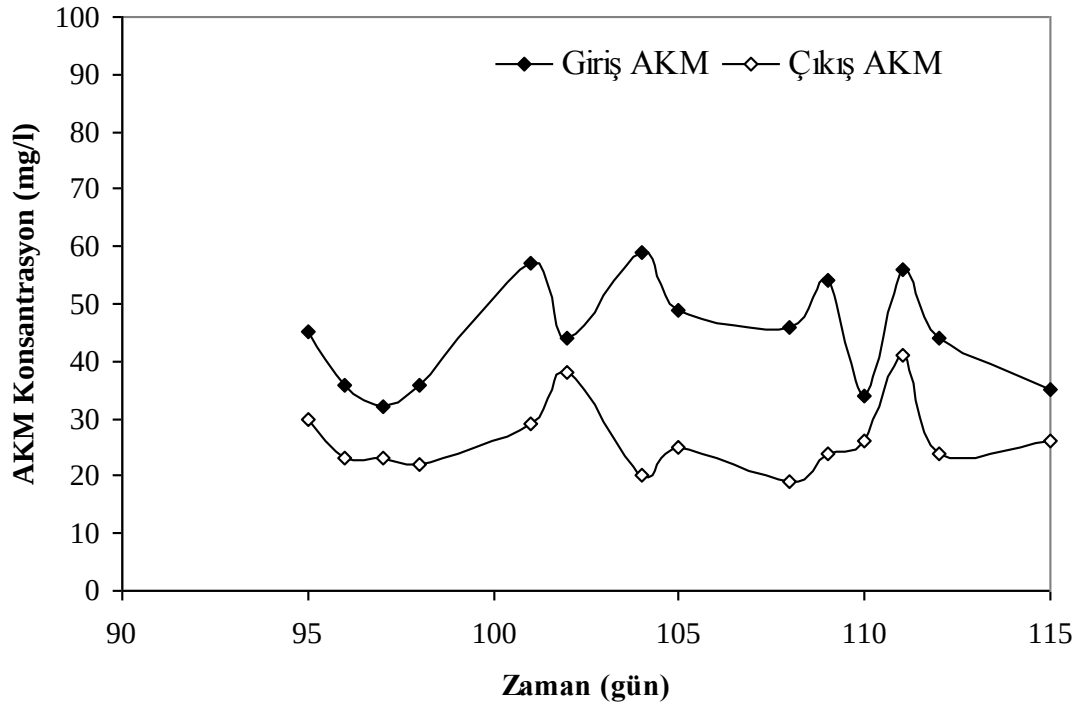
Şekil 4.14: Reaktör giriş ve çıkışındaki pH ve alkalinite değerleri (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)

4.4.4 Askıda katı madde

Giriş AKM konsantrasyonu 32-59 mg/l (ortalama 46 mg/l) aralığında değişim gösterirken, çıkış AKM konsantrasyonu 19-41 mg/l (ortalama 27 mg/l) aralığında değişim göstermiştir. Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarında salınımlar görülmüştür. Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarının zamanla değişimi Şekil 4.15’de verilmiştir.

4.4.5 Biyokütle

Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu atıksu + genç sızıntı suyu ile işletme dönemi sonunda (115. gün) reaktörün 5 farklı seviyesinden alınan çamur numuneleri ile AKM ve UAKM deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre çamur reaktörün 2. seviyesinde daha yoğundur. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.7.’de verilmiştir.



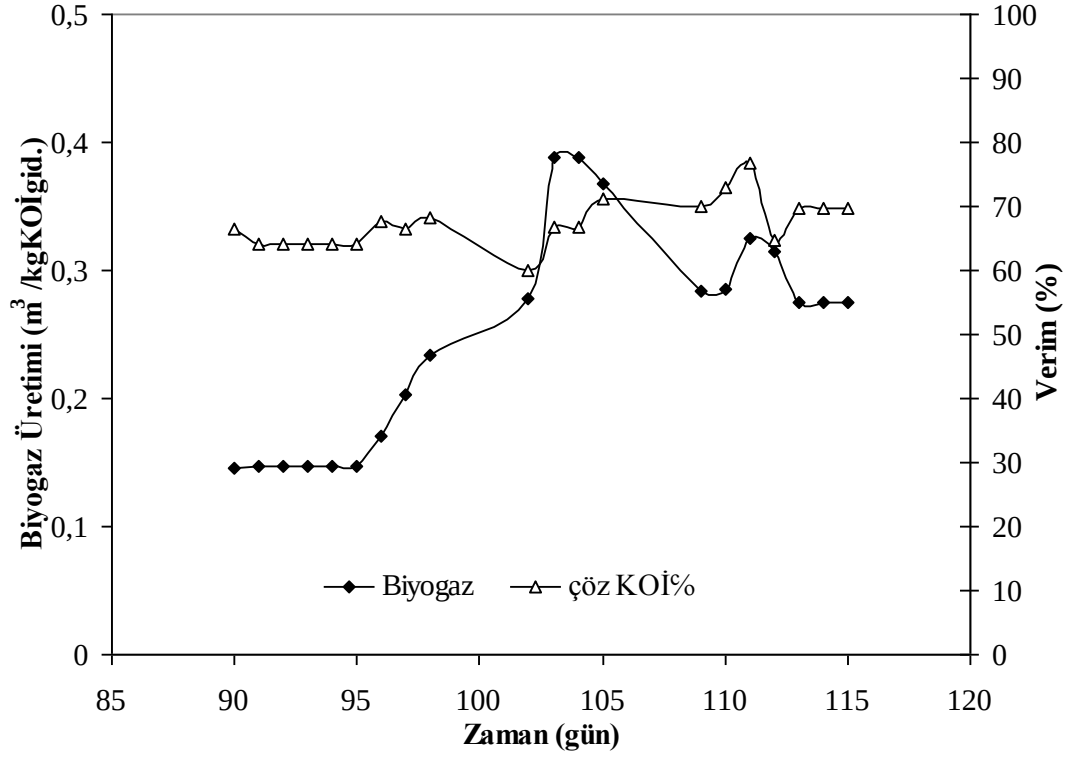
Şekil 4.15: Giriş ve çıkış AKM konsantrasyonlarının ve verimin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)

Tablo 4.7: Reaktör içindeki çamurun farklı yüksekliklerdeki konsantrasyonu (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)

Numune Musluğu Yüksekliği (mm.)	AKM (mg/lt)	UAKM (mg/lt)	UAKM/AKM (%)
840	233	143	61
680	273	187	68
520	24790	14400	58
360	52640	37790	72
200	37930	31440	83

4.4.6 Biyogaz üretimi

Ön-çökeltimden geçmiş evsel atıksu atıksu + genç sızıntı suyu ile yapılan çalışma süresince biyogaz üretimi günlük olarak izlenmiştir. Giderilen kgKOİ başına üretilen biyogaz hacimleri Şekil 4.16'da verilmiştir. Ortalama %67 çözünmüş KOİ giderim verimi elde edilirken üretilen biyogaz hacmi ortalama 0,25 m³/kg KOİgid.gün olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.16: Giderilen kgKOİ başına üretilen biyogaz hacminin zamanla değişimi (ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Düşük sıcaklıklarda düşük kirlilik yüküne sahip evsel atıksuların doğal sıcaklık ortamlarında yüksek hızlı yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile anaerobik arıtılabilirliği incelenmiştir.

Çalışma üç aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada, reaktör 12 saat hidrolik bekleme süresinde ham evsel atıksu ile beslenmiştir. İkinci aşamada, reaktör 8 saat hidrolik bekleme süresinde ön çökeltimden geçirilmiş evsel atıksu ile beslenmiştir. Üçüncü aşamada ise ön-çökeltimden geçmiş evsel atıksu + genç sızıntı suyu, ortalama KOİ konsantrasyonu 500-600 mg/lt olacak şekilde karıştırılmış ve giriş akımının orta kirlilikte bir evsel atıksuyu temsil etmesi sağlanmıştır. Bu aşamada reaktör 10 saat hidrolik bekleme süresinde çalıştırılmıştır. Her üç aşamada sistem ilave olarak ısıtılmadan oda sıcaklığında çalıştırılmıştır.

5.1 Ham Evsel Atıksu ile Elde Edilen Sonuçlar

- Giriş toplam KOİ 188-330 mg/lt (ortalama 232 mg/lt) arasında değişim gösterirken çıkış toplam KOİ 70-116 mg/lt (ortalama 95 mg/lt) arasında değişim göstermiştir.

- Giriş çözünmüş KOİ ise 85-114 mg/lt (ortalama 95 mg/lt) arasında değişim gösterirken çıkış çözünmüş KOİ 52-79 mg/lt (ortalama 65 mg/lt) arasında değişim göstermiştir.

- İlave ısıtma yapılmaksızın %43-72 toplam KOİ ve %19-45 çözünmüş KOİ giderim verimlerine ulaşılmıştır. Toplam KOİ gideriminin çamur yatağında partiküler organik maddenin fiziksel işlemler ile gideriminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Toplam ve çözünmüş KOİ gideriminin giriş değerlerine bağlı olarak değişmiştir.

- Giriş AKM konsantrasyonlarının değişimler göstermesine rağmen çıkış AKM konsantrasyonunun sabit olduğu görülmüştür.

- Çalışma süresi boyunca sıcaklık değişiminin az olmasından dolayı, arıtım veriminde sıcaklık değişiminden çok organik yük değişimi ve giriş KOİ konsantrasyonunun değişimi etkili olmuştur. Ancak sistemin günlük sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi için reaktör kapalı ortamda bulunmalıdır.

- Biyolojik olarak ayrışabilen organik maddenin düşük olması ve düşük sıcaklıkta üretilen biyogazın büyük oranda çıkış suyu içerisinde çözünmesinden dolayı açığa çıkan biyogaz miktarı çok düşük olduğu düşünülmektedir.

- Düşük kirlilik yüküne sahip evsel atıksuların yüksek hızlı yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile doğal sıcaklık ortamlarında ısıtmaya ihtiyaç duyulmadan arıtımı KOİ için Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği deşarj standartlarını sağlamaktadır.

- Elde edilen sonuçlar ışığında boyutlandırılacak arıtma sistemi ile ülkemizin sıcak ve ılıman iklim kuşağında bulunan küçük yerleşim yerlerindeki evsel atıksuların ekonomik bir şekilde arıtımı sağlanabilir. Yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile evsel atıksuyun anaerobik arıtımında ısıtma ihtiyacı olmaması, işletme dönemi süresinde enerji, ekipman ve personel ihtiyacının az olmasından dolayı daha ekonomik olmaktadır. Ancak bu konuda kesin bir yargıya varmak için ilave fizibilite çalışması yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

- Reaktör çıkış suyunun sulama amaçlı tarım alanlarında kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Anaerobik arıtımda evsel atıksudaki azot ve fosforda önemli bir giderim sağlanamamaktadır. Çıkış suyundaki azot ve fosforun korunması çıkış suyunun tarımsal sulamada kullanılması halinde gübre değerinden dolayı önemli faydalar sağlamaktadır. Fakat arıtılan suyun sulama amaçlı kullanımı için gerekli diğer parametrelerin de (sülfat, klorür konsantrasyonu ve fekal koliform gibi) standart değerlerini sağlayıp sağlamadığının araştırılması gerekmektedir.

5.2 Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel Atıksu ile Elde Edilen Sonuçlar

- Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu ile yapılan çalışmada partiküler maddelerin büyük kısmı çökeltimde giderildiğinden giriş KOİ konsantrasyonu ve buna bağlı olarak toplam KOİ giderim verimi büyük ölçüde düşmüştür. Diğer taraftan çözünmüş KOİ giderimi artmıştır.

- Giriş toplam KOİ 74-96 mg/lt (ortalama 91 mg/lt) arasında değişim gösterirken çıkış toplam KOİ 57-91 mg/lt (ortalama 77 mg/lt) arasında değişim göstermiştir.

- Giriş çözünmüş KOİ ise 59-88 mg/lt (ortalama 76 mg/lt) arasında değişim gösterirken çıkış çözünmüş KOİ 27-64 mg/lt (ortalama 48 mg/lt) arasında değişim göstermiştir.

- İlave ısıtma yapılmaksızın %2-37 toplam KOİ ve %12-67 çözünmüş KOİ giderim verimlerine ulaşılmıştır. Giriş KOİ konsantrasyonu arttıkça arıtma veriminin toplam ve çözünmüş KOİ bazında arttığı görülmüştür

- Ham atıksuyun doğrudan beslenmesi ancak düşük AKM konsantrasyonunda uygundur. Yüksek AKM konsantrasyonları fiziksel işlemler ile çamur yatağında alıkonularak düşük metanojenik aktiviteye, granüler çamur oluşumunun önlenmesine ve metan fazının etkili bir şekilde gerçekleşmemesine neden olmaktadır (Mahmoud, 2002).

5.3 Ön Çökeltimden Geçmiş Evsel Atıksu + Genç Sızıntı Suyu ile Elde Edilen Sonuçlar

- Giriş toplam KOİ 481-582 mg/lt (ortalama 533 mg/lt) arasında değişim gösterirken çıkış toplam KOİ 171-256 mg/lt (ortalama 206 mg/lt) arasında değişim göstermiştir.

- Giriş çözünmüş KOİ ise 393-541 mg/lt (ortalama 488 mg/lt) arasında değişim gösterirken çıkış çözünmüş KOİ 123-209 mg/lt (ortalama 159 mg/lt) arasında değişim göstermiştir.

- İlave ısıtma yapılmaksızın %53-68 toplam KOİ ve %60-77 çözünmüş KOİ giderim verimlerine ulaşılmıştır.

- Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu+genç sızıntı suyu ile yapılan çalışmada üretilen biyogaz hacmi ortalama 0,25 m³/kgKOİgid.gün olarak hesaplanmıştır.

- Düzenli depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının belirli oranda (~%1) evsel atıksu ile karıştırılarak yukarı akışlı çamur yataklı reaktörde düşük sıcaklıklarda anaerobik arıtılabilirliğinin uygun olduğu görülmüştür. Ancak çıkış suyu kalitesini arttırmak için ilave bir arıtım gerekmektedir.

- Ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu+genç sızıntı suyu ile yapılan çalışmada reaktör alt seviyesindeki çamurda bozulmalar meydana gelmiştir. Alıştırma süresinin kısa tutulmasından dolayı çıkış AKM konsantrasyonlarında değişimler görülmektedir. Kararlı çıkış AKM konsantrasyonu için kararlı çamur yatağı gerekmektedir.

5.4 Öneriler

- Ham evsel atıksu ve ön çökeltimden geçmiş evsel atıksu ile yapılan çalışmalarda çözünmüş inert KOİ tayini yapılarak giderim veriminin düşük olmasının nedeninin çözünmüş inert KOİ konsantrasyonundan kaynaklanıp kaynaklanmadığının araştırılması sistem verimi hakkında daha iyi bilgiler elde edilmesini sağlayacaktır.

- Laboratuvar ölçekli yukarı akışlı çamur yataklı reaktörde gerçekleştirilen bu çalışma sonuçları ile kinetik çalışmalar yapılmış ancak mevcut veriler ile sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Sıcaklık değişimini de içerecek şekilde evsel atıksuların anaerobik arıtımı için ilave kinetik çalışmalara ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

- Evsel atıksuların yukarı akışlı çamur yataklı reaktör ile arıtımında daha uzun süreli çalışmalar yapılarak daha geniş bilgi birikiminin sağlanması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- Angenent, L.T., Banik, C.G. and Sung, S.**, (2001). Anaerobic migrating blanket reactor treatment of low strength wastewater at low temperatures, *Water Environmental Research*, **73**(5), 567-574.
- Agrawal, L.K., Ohaskhi Y., Mochida, E., Okui, H., Ueki, Y., Harada, H. and Ohashi, A.**, (1997). Treatment of raw sewage in a temperature climate using a UASB reactor and the hanging sponge cubes process, in *Proceedings of the 8th International Conference on Anaerobic Digestion*, Sendai, Japan, **2**, 200-207.
- Alaerts, G.J., Veenstra, S., Bentvelsen, M., van Duijl, L.A., Lindfield, M., Specker, H., van Velsen, L., Wildschut, L., Lettinga, G., Hulshoff Pol, L., and Zuidema, M.** (1990). Feasibility of anaerobic sewage treatment in sanitation strategies in developing countries, *International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, IHE Report Series 20*, Delft, The Netherlands.
- Barbosa, R.A. and Sant'Anna Jr., G.L.** (1989). Treatment of raw domestic sewage in an UASB reactor. *Water Research*, **23**(12), 1483-1989.
- Bogte, J.J., Breure, A.M., van Andel, J.G., and Lettinga, G.** (1993). Anaerobic treatment of domestic wastewater in small scale UASB reactors. *Water Science and Technology*, **27**(9), 75-82.
- Cavalcanti, P.F.F.** (2003). Integrated application of the UASB reactor and ponds for domestic sewage treatment in tropical regions, *PhD. Thesis*, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Chernicharo, C.A. de L., and Borges, J.M.** (1997). Evaluation and start-up of a full scale UASB reactor treating domestic sewage. in *Proceedings of the 8th International Conference on Anaerobic Digestion*, Sendai, Japan, **2**, 192-199.
- Chernicharo, C.A. de L. and Cardoso, M. dos R.** (1999). Development and evaluation of a partitioned upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor for the treatment of domestic sewage from small villages, *Water Science and Technology*, **40**(8), 107-113.
- Collivignarelli, C., Urbini, G., Farneti, A., Bassetti, A., and Barbaresi, U.** (1991). Economic removal of organic and nutrient substances from municipal wastewaters with full scale UASB fluidized and fixed bed reactors, *Water Science and Technology* **24**(7), 90-95.
- Derycke, D. And Verstraete, W.** (1986). Anaerobic treatment of domestic wastewater in a lab and pilot scale polyurethane carrier reactor, in *Anaerobic Treatment a grown-up technology*, Papers of the IAWQ-NVA

Conference on advanced wastewater treatment (Aquatech 1996), Amsterdam, The Netherlands, 437-450.

- Draaijer, H., Maas, J.A.W., Schaapman, J.E., and Khan, A.** (1992). Performance of the 5 MLD UASB reactor for sewage treatment at Kanpur, India, *Water Science and Technology*, **25(7)**, 123-133.
- Elmitwalli, T.A.,** (2000). Anaerobic treatment of domestic sewage at low temperature, *Doktora Tezi*, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Elmitwalli, T., Zeeman, Gr., and Lettinga, G.** (2001). Anaerobic treatment of domestic sewage at low temperature, *Water Science and Technology*, **44(4)**, 33-40.
- Florencio, L., Takayuki Kato, M., and Cardoso de Moraes, J.** (2001). Domestic sewage treatment in full scale UASB plant at Mangueira, Recife, Pernambuco. *Water Science and Technology*, **44(4)**, 71-77.
- Foresti, E.** (2001). Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives, *Proceedings of the Anaerobic Digestion 2001 Conference on Anaerobic Conversion for Sustainability*, Antwerpen, Belgium, September 2-6, Part 1, 37-42.
- Foresti, E.** (2002) Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives, *Water Science and Technology*, **45(10)**, 181-186.
- Gnanadipathy, A. And Polprasert, C.** (1993). Treatment of domestic wastewater with UASB reactors, *Water Science and Technology*, **27(1)**, 195-203.
- Grin, P., Roesma, R. And Lettinga, G.** (1983). Anaerobic treatment of raw sewage at lower temperatures, in *Proceedings of the European on Anaerobic Wastewater Treatment*, Noordwijkerhout, The Netherlands, 335-347.
- Grin, P., Roesma, R. And Lettinga, G.** (1985). Anaerobic treatment of raw sewage in UASB reactors at temperatures 9-20⁰C, in *Proceedings of the Seminar/Workshop on Anaerobic Treatment of Sewage*, Switzenbaum, M.S., ed., Amherst, USA, 109-124.
- Van Haandel, A.C. and Lettinga G.,** (1994). Anaerobic sewage treatment: a partial guide for regions with a hot climate, John Wiley&Sons Ltd., Chichester.
- Halalsheh, M.M.** (2002). Anaerobic pre-treatment of strong sewage, *PhD. Thesis*, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Haskoning** (1989). Anaerobic treatment of domestic wastewater under tropical conditions, Final Report-Pilot Plan Research.
- Haskoning** (1996). 36 MLD UASB treatment plant in Kanpur, India. *Evaluation report on process performance*, Haskoning Consulting Engineers and Architects.
- Haskoning** (1996b). 14 MLD UASB treatment plant in Mirzapur, India. *Evaluation report on process performance*, Haskoning Consulting Engineers and Architects.

- Küçükgül, O.** (1999). Katı atık düzenli depolama sahaları sızıntı suyu özelliklerinin değişimini ifade eden bir matematiksel model, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Lettinga, G., Roesma, R., and Grin, P.** (1983). Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor, *Biotechnology and Bioengineering*, **25**, 1701-1723.
- Lettinga, G. Ve diğ** (1984). High-rate anaerobic wastewater treatment using the UASB reactor under a wide range of temperature conditions, *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, **12**, 25-30
- Lettinga, G., de Man, A., Grin, P., and Hulshoff Pol, L.** (1987). Anaerobic wastewater treatment as an appropriate technology for developing countries, *Tribune Cebedeau*, **40(519)**, 21-32.
- Lens, P., Zeeman, G. and Lettinga, G.** (2001). Decentralised sanitation and reuse, *Concept system and implementation*, IWA Publishing, London, UK.
- Lew, B., Belavski, M., Admon, S., Tarre, S. And Green, M.** (2003). Temperature effect on UASB reactor operation for domestic wastewater treatment in temperate climate regions, *Water Science and Technology*, **48(3)**, 25-30.
- Louwe Kooijmans, J. And van Velsen, E.M.** (1986). Application of the UASB process for treatment of domestic sewage under sub-tropical conditions, the Cali Case, in *Anaerobic Treatment. A grown-up Technology*, Papers of the IAWQ-NVA Conference on Advanced Wastewater Treatment (Aquatech 1996), Amsterdam, The Netherlands, 423-436.
- Maaskant, W., Magelhaes, C., Maas, J., and Onstwedder, H.** (1991). The upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process for the treatment of sewage, *Environmental Pollution*, **1**, 647-653.
- Mahmoud, N.J.A.** (2002). Anaerobic pre-treatment of sewage under low temperature (15°C) conditions in an integrated UASB digester system, *PhD. Thesis*, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- de Man, A.W.A., Grin, P.C., Roesma, R.E., Grolle, K.C.F., and Lettinga, G.** (1986). Anaerobic treatment of municipal wastewater at low temperatures, in *Anaerobic Treatment. A grown-up Technology*, Papers of the IAWQ-NVA Conference on Advanced Wastewater Treatment (Aquatech 1996), Amsterdam, The Netherlands, 451-466.
- de Man, A.W.A., van der Last, A.R.M., and Lettinga, G.** (1988). The use of EGSB and UASB anaerobic systems on low strength soluble and complex wastewaters at temperatures ranging from 8 to 30 °C, in *Proceedings of the 5th International Symposium on Anaerobic Digestion*, Hall, E.R. and Hobson, P.N., eds., Bologna, Italy, 197-208.
- de Man, A.W.A.** (1988). Anaerobic treatment of sewage using a granular sludge bed UASB reactor, in *Proceedings of the 5th International Symposium on Anaerobic Digestion*, Hall, E.R. and Hobson, P.N., eds., Bologna, Italy, 735-738.
- Mergaert, K., Vanderhaegen, B. and Verstraete, W.** (1992). Applicability and trends of anaerobic pre-treatment of municipal wastewater, *Water Reseach*, **26(8)**, 1025-1033.

- Mgana, S.M.** (2003). Towards sustainable and robust on-site domestic wastewater treatment for all citizens, *PhD. Thesis*, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Monroy, O., Noyola, A., Ramirez, F. And Guyot, J.P.** (1988). Anaerobic digestion and water hyacinth as a highly efficient treatment process for developing countries, in *Proceedings of the 5th International Symposium on Anaerobic Digestion*, Poster-papers, Tilche, A. and Rozzi, A., eds., Bologna, Italy, 747-751.
- Öztürk I.** (2000). Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul, Türkiye
- Schellinkhout, A., Lettinga, G., van Velsen, L., and Louwe Kooijmans, J.** (1985) The application of the UASB reactor for direct treatment of domestic wastewater under tropical conditions, in *Proceedings of the Seminar/Workshop on Anaerobic Treatment of Sewage*, Switzenbaum, M.S., ed., Amherst, USA, 259-276.
- Schellinkhout, A. and Collazos, C.J.** (1992) Full-scale application of the UASB technology for sewage treatment, *Water Science and Technology*, **25(7)**, 159-166.
- Schellinkhout, A. and Osorio, E.** (1994) Long-term experience with the UASB technology for sewage treatment on large scale, in *Proceedings of the 7th International Symposium on Anaerobic Digestion*, Cape Town, South Africa, 251-252.
- Singh, K.S. and Viraraghavan, T.,** (1998). Start-up and operation of UASB reactors at 20°C for municipal wastewater treatment, *Journal of Fermentation and Bioengineering*, **41(11)**, 1082-1091.
- Singh, K.S. and Viraraghavan, T.,** (2001). Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treatment of municipal wastewater, in *Proceedings of the Anaerobic Digestion 2001 Conference on Anaerobic Conversion for Sustainability*, Antwerpen, Belgium, September 2-6, Part 1, 493-498.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, (1998). 20th edn, APHA/AWWA/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Van Starkenburg, W., Maas, J.A.W., Kazmi, K.A. and Wiegant, W.M.** (2001). The Mirzapur domestic wastewater UASB plant: six years of operation, *Preprints of 9th International Conference on Anaerobic Digestion*, Antwerp, Belgium, 2, 567-575.
- Tang, N.N., Torres, C.L., and Speece, R.E.** (1995). Treatment of low strength domestic wastewater by using upflow sludge blanket process, in *Proceedings of the 50th Purdue Industrial Waste Conference*, 437-448.
- Tare, V., Ahammed, M. and Jawed, M.** (1997). Biomethanation in domestic and industrial waste treatment- an Indian scenario, in *Proceedings of the 8th International Symposium on Anaerobic Digestion*, Sendai, Japan, **3**, 255-262.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A.,** (1993). Integrated solid waste management, *Engineering Principles and Management Issues*, Mc Graw Hill, New York.

- Tüylüoğlu, B.S.**, (2001).Evsel katı atık sızıntı sularının havasız çamur yataklı reaktörle arıtımı, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ubay, G.**, (1993). Havasız atıksuların havasız biyolojik arıtımı üzerine bir araştırma, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uemura, S. and Harada, H.**, (2000). Treatment of sewage by a UASB reactor under moderate to low temperature conditions, *Bioresource Technology*, **72**, 275-282.
- Vieira, S.M.M., and Souza, M.E.** (1986). Development of technology for the use of the UASB reactor in domestic sewage treatment, *Water Science and Technology*, **18(12)**, 109-121.
- Vieira, S.M.M.** (1988). Anaerobic treatment of domestic sewage in Brazil-research, results and full-scale experince. *Proceedings of the 5th International Symposium on Anaerobic Digestion*, Bologna, Italy, 185-196.
- Vieira, S.M.M., Garcia, A.D.** (1992). Sewage treatment by UASB reactor: operation results and recommendations for design and utilization, *Water Science and Technology*, **25(7)**, 143-158.
- Vieira, S.M.M., Carvalho, J.L., Barijan, F.P.O., and Rech, C.M.** (1994). Application of the UASB technology for sewage treatment in a small community at Sumare, Sao Paulo State, *Water Science and Technology*, **30(12)**, 203-210.
- Wiegant, W.M.** (2001). Experiences and potential of anaerobic wastewater treatment in tropical regions, *Water Science and Technology*, **44(8)**, 107-113.
- Yangin, C., Yilmaz, S., Altinbas, M. and Ozturk, I.**, (2002). A new process for the combined treatment of municipal wastewaters and landfill leachates in coastal areas, *Water Science and Technology*, **46(8)**, 111-118.

EKLER

Ek A: Evsel atıksuların anaerobik arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar

V (m ³)	T (°C)	Giriş Konsantrasyonu (mg/l)				HRT (sa)	Giderim Verimi (%)				AŞILAMA	KAYNAK
		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		
0,03	21	520-590		73-75		9	57-79		50-60		ÇAÇ	Lettinga ve diğ.,1983
0,12	12-18	420-920		55-95		32-40	48-70		30-45	90	ÇAÇ	Lettinga ve diğ.,1983
0,12	18-20	248-581		163-376		12	72		62		GÇ	Lettinga ve diğ.,1983
6	20	500				8	75		75		ÇAÇ	Grin ve diğ., 1983
6	15-19	500				8	40-55		65-80		ÇAÇ	Grin ve diğ., 1983
6	11-12	400				8	30-50		55-70		ÇAÇ	Grin ve diğ., 1983
6	9-10	500				8	30		55		ÇAÇ	Grin ve diğ., 1983
0,11	35	341	137		88	4	65	72	83	61	ÇAÇ	Vieira ve diğ.,1984
0,12	8-20	200-900				8	54-72		60-89			Lettinga ve diğ.,1984
6	15-20	322-950				8			30-80			Lettinga ve diğ.,1984
6	9-12	322-950				8	18-45					Lettinga ve diğ.,1984
6	9-20	300-650				8	75				GÇ	Grin ve diğ., 1985

Ek A: Evsel atıksuların anaerobik arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar (devamı)

V (m ³)	T (°C)	Giriş Konsantrasyonu (mg/l)				HRT (sa)	Giderim Verimi (%)				AŞILAMA	KAYNAK
		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		
6	9-20	400-600				24	70				GÇ	Grin ve diğ., 1985
64	24-26	267		40-240	215	4-8	75-82		83	70		Schellinkhout ve diğ., 1985
64	24-26	267			215	3-4		78-85				Schellinkhout ve diğ., 1986
64	35	341			88	4	65		83			Schellinkhout ve diğ., 1987
0,16	20	467				6	50	54				Derycke ve Verstraete, 1986
0,12	7-18	100-900	53-474		10-700	4-14	45-72		38-59	50-89	GÇ	de Man ve diğ., 1986
6	10-18	100-900	53-474		10-700	9-16	46-60		42-48	55-75	GÇ	de Man ve diğ., 1986
20	11-19	100-900	53-474		10-700	6-18	31-49		23-46		GÇ	de Man ve diğ., 1986
		150-550	43-157		50-400						GÇ	de Man ve diğ., 1986
64	25	267	95			6-8	75-82	75-93		70-80		Louwe ve diğ., 1986, Lettinga ve diğ., 1987
20	10-15	740-1280				13-14	48-16	20-60			GÇ	de Man ve diğ., 1988
0,12	12-20	190-1180		80-300		7-8	30-75		20-60		GÇ	de Man ve diğ., 1988

Ek A: Evsel atıksuların anaerobik arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar (devamı)

V (m ³)	T (°C)	Giriş Konsantrasyonu (mg/l)				HRT (sa)	Giderim Verimi (%)				AŞILAMA	KAYNAK
		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		
0,11	12-18	465			154	12-18	65			73	AAÇ	Monroy ve diğ.,1988
120	21-25	265	150		123	4-5	50	61		73	ÇAÇ	Vieira ve diğ., 1988
0,12	19-28	627	357	151	367	4	74	78		72		Barbosa ve Sant,1989
64	25	250-350			150	6-8	60			70		Haskoning, 1989
336	7-27	205-326	55-153		100-250	12-42	31-56	40-70		55-80		Collivignarelli ve diğ.,1991, Maaskant ve diğ.,1991
1200	20-30	563	214		418	6	62-70	65-75		67-79		Draaijer.,1992
0,16	20	1076				6	64			88		Mergaert ve diğ., 1992
35						5-19	66-72	80		70		Schellinkhout ve Collazos,1992
120	15-21	213-538			182	11	63			75		Vieira ve diğ., 1992
120	20-25	350-450			200	7-9	55-65			65-75		Vieira ve diğ., 1992
120	25-30	188-258			67-113	6-8	54-60			64-67		Vieira ve diğ., 1992
1,2	13-14	976	454		641	44	33	50		47		Bongte ve diğ.,1993 UASB septik tank

Ek A: Evsel atıksuların anaerobik arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar (devamı)

V (m ³)	T (°C)	Giriş Konsantrasyonu (mg/l)				HRT (sa)	Giderim Verimi (%)				AŞILAMA	KAYNAK
		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		
1,2	13	821	467		468	57	4	15		6		Bongte ve diğ.,1993 UASB septik tank
1,2	12	1716	640		1201	102	60	50		77	GÇ	Bongte ve diğ.,1993 UASB septik tank
0,86						360	90-93	92-95		93-97		Lettinga ve diğ.,1993
0,86						34	67-77	82		74-81		Lettinga ve diğ.,1993
0,03	30	450-750				3-12	90					Gnanadipathy ve diğ.,1993
0,1	25-35	32-780				8-23	62-72					Ubay, 1993
0,1	20-30	90-520				6-12	73					Ubay, 1993
160	22-25					7	67	84		77		van Haandel ve Lettinga, 1994
3360	24	380	160		240	5	45-60	64-78		60		Schellinkhout ve Osorio,1994
67,5	16-23	402	515		379	7	80	74		87	ÇÇ	Vieira ve diğ.,1994
0,06	20	782	352		393	6-24	58			77	ÇÇ	Tang ve diğ.,1995
12000	18-32	1183	484		1000	8	51-63	53-69		46-64		Haskoning,1996; Tare ve diğ.,1997

Ek A: Evsel atıksuların anaerobik arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar (devamı)

V (m ³)	T (°C)	Giriş Konsantrasyonu (mg/l)				HRT (sa)	Giderim Verimi (%)				AŞILAMA	KAYNAK
		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		
6000	18-32	404	205		362	8	62-72	65-71		70-78		Haskoning,1996b; Tare ve diğ.,1998
477		600			303	13	68			76	AEÇ	Chernicharo ve Borges,1997
0,008	20	350-500		150-300	100-270	10-40	60-75		70-85	86	ÇÇ	Singh ve Viraraghavan,1998
9		712		312	386	7-8	79		74	92	YAÇYR çamuru	Chernicharo ve Cardoso,1999
0,02	13-25	312		114		4-5	69		56		GÇ	Uemura ve Harada,2000
0,004	13	456	112		229	8	65	39		88	GÇ	Elmitwalli,2000 (ham atıksu)
0,004	13	344	124		82	8	59	45		79	GÇ	Elmitwalli,2000 (çöktürülmüş atıksu)
3380	18-26					6	63	66		73		van Starkenburg ve diğ., 2001
810	30,8	549	313		196	9	75	73		51		Florencio ve diğ.,2001
12000	24-30					6	54	52		65		Wiegant ve diğ., 2001
11200	26-29					6	61	48		51		Wiegant ve diğ., 2001
0,14	15	390		162		6	44	5			YAÇYR çamuru	Mahmoud,2002

Ek A: Evsel atıksuların anaerobik arıtımı ile ilgili yapılan çalışmalar (devamı)

V (m ³)	T (°C)	Giriş Konsantrasyonu (mg/l)				HRT (sa)	Giderim Verimi (%)				AŞILAMA	KAYNAK
		KOİ	BOİ	çözKOİ	AKM		KOİ	BOİ	ÇözKOİ	AKM		
60	18-25	1531	277		396	8-10	50	-7		41	yok	Halalsheh,2002(2 kademe YAÇY 1 kademe)
60	18-25	1531	277		396	23-27	51	23		55	yok	Halalsheh,2002 (tek kademeli YAÇY reaktör)
1,5		480				6	79					Cavalcanti,2003
0,005	10-28	200-300			150-300	3-24	82			82		Lew ve diğ., 2003
1,5	25-34	529		431		2-40	64	64				Mgana,2003

GÇ: Granüler çamur, ÇAÇ: Çürütülmüş atıksu çamuru, AAÇ: Adapte edilmiş aktif çamur, ÇÇ: Çürütülmüş çamur, AEÇ: Adapte edilmemiş çamur, AÇ: Aktif çamur YAÇYR çamuru: Yukarı akışlı çamur yataklı reaktör çamuru

ÖZGEÇMİŞ

Çevre Mühendisi Deniz İzlen ÇİFÇİ, 1980 yılında Balıkesir'in Bandırma ilçesinde doğmuştur. Çanakkale Biga Mehmet Akif Ersoy Süper Lisesi'ni 1998 yılında bitirmiş, aynı yıl girdiği Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2002 yılında Bölüm birincisi olarak mezun olmuştur. 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı'nda yüksek lisansa başlamıştır.