

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PEYNİRALTI ATIKSULARININ ANAEROBİK HİBRİT
REAKTÖR/AEROBİK SÜREKLİ KARIŞTIRMALI TANK REAKTÖR
SİSTEMLERİNDE ARITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sadık UYUM**

Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ

TEMMUZ, 2011

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 081201003 nolu öğrencisi Sadık UYUM tarafından hazırlanan “Peyniraltı Atıksularının Anaerobik Hibrit Reaktör/Aerobik Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör Sistemlerinde Arıtılabilirliğinin İncelenmesi ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Nurdan BÜYÜKKAMACI (DEÜ)

Jüri Üyesi:
(Tez Danışmanı) Doç. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ (PAÜ)

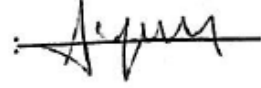
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sebahattin NAS (PAÜ)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/08/2011... tarih ve ..22/1.6..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza



Öğrenci Adı Soyadı : Sadık UYUM

ÖNSÖZ

Bu çalışmada daha önceden peyniraltı atıksuyunun literatürde fazla karşılaşılmayan hibrit reaktörde ve buna bağlı aerobik tanktaki arıtma verimi üzerinde durulmuştur. Bu amaçla, hibrit reaktör çalıştırılmaya başlanmış ve arıtma verimleri incelenmiştir. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkıda bulunan danışman hocam Doç. Dr. Osman Nuri Ağdağ'a, konu ile yardımlarından dolayı Gıda Mühendisliği Bölüm hocalarına, laboratuvarında bana yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans öğrenci arkadaşım Derya Aktaş'a ve 2009FBE026 nolu projeden maddi imkan sağlayan Fen Bilimleri Enstitüsü'ne teşekkür ederim

Haziran 2011

Sadık UYUM

Çevre Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1 Peyniraltı Suyu	2
2.1.1 Peyniraltı suyunun bileşimi	4
2.1.2 Peyniraltı suyunun kirletici özellikleri	10
2.1.3 Peyniraltı suyunun arıtılması	12
2.2 Anaerobik Arıtma	12
2.2.1 Anaerobik arıtma süreci	14
2.2.2 Anaerobik arıtma sistemleri	18
2.2.3 Anaerobik hibrit reaktör	19
2.2.3 Anaerobik arıtma uygulamaları	20
2.3 Aerobik Arıtma	23
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	24
3.1 Peyniraltı Atıksuyu Numune Alınması Ve Karakterizasyonu	24
3.2 Reaktör Sistemleri	25
3.2.1 Start-up periyodu	27
3.2.2 Anaerobik Hibrit Reaktör ve Aerobik Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör Çalışma Koşulları	27
3.3 Analiz Yöntemleri	30
3.3.1 KOİ ölçümü	30
3.3.2 Gaz ölçümleri	31
3.3.3 İnert KOİ analizi	31
3.3.4 Alkalinite ve UYA analizi	31
3.3.5 BOİ analizi	32
3.3.6 Amonyum azotu (NH ₄ -N) analizi	32
3.3.7 Toplam azot (TN) analizi	32
3.3.8 Toplam fosfat (TP) analizi	32
3.3.9 pH	32
3.3.10 Anaerobik toksisite analizi	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1 Anaerobik Hibrit Reaktör Arıtım Sonuçları	33
4.1.1 Anaerobik hibrit reaktörde KOİ giderimi	33
4.1.2 Anaerobik hibrit reaktörde metan gazı oluşumu	41
4.1.3 UYA, pH ve alkalinite sonuçları	44
4.1.4 İnert KOİ sonuçları	45
4.1.5 ATA sonuçları	46
4.1.6 NH ₄ -N giderim sonuçları	47
4.2 Aerobik Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktöründeki Arıtım Sonuçları	47

4.2.1 Aerobik SKT reaktördeki KOİ giderimi	47
4.2.2 Aerobik SKT reaktördeki amonyum azotu ve toplam azot giderimi	49
5. SONUÇLAR	49
KAYNAKLAR.....	51

KISALTMALAR

BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TOK	: Toplam Organik Karbon
UYA	: Uçucu Yağ Asitleri
ATA	: Anaerobik Toksikite Deneyi
OYH	: Organik Yükleme Hızı
PAS	: Peyniraltı Atıksuyu
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde
AKR	: Ardışık Kesikli Reaktör
YAÇY	: Yukarı Akışlı Çamur Yataklı Reaktör

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1 : Taze peyniraltı suyunun birleşimi.....	4
2.2 : 100 ml peyniraltı suyunun kimyasal bileşimi	5
2.3 : Peyniraltı atıksuyunun arıtılması sırasında oluşan biyogaz bileşimi	9
2.4 : Anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevre koşulları.....	18
3.1 : Peyniraltı atıksuyu kirlilik değerleri	25
3.2 : Vanderbilt mineral ortamı	28
3.3 : Anaerobik hibrit reaktör giriş KOİ ve OYH değerleri.....	28
3.4 : Anaerobik hibrit reaktör hidrolik bekleme süresi	29
3.5 : Aerobik tam karıştırmalı tank reaktör OYH değerleri.....	29
3.6 : Aerobik tam karıştırmalı tank reaktör HBS değerleri.....	30
4.1 : Farklı OYH'ndaki ortalama metan yüzdeleri	43
4.2 : Peyniraltı suyu ATA incelemesi metan miktarları.....	46

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 : Organik maddelerin anaerobik ayrışma aşamaları.....	15
3.1 : Anaerobik hibrit ve aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktör.....	26
3.2 : Anaerobik hibrit reaktör ve aerobik SKTR reaktör çalışma şeması.	26
3.3 : WTW CR2200 ısıtıcı.	30
3.4 : WTW photoLab S12 spektrofotometre.....	30
3.5 : Toplam gaz miktarının ölçüldüğü düzenek ve Dräger® Ex cihazı.....	31
4.1 : Anaerobik hibrit reaktör yatışkın durum KOİ çıkış değerleri.....	33
4.2 : Anaerobik hibrit reaktör yatışkın durum KOİ giderim verimi.....	34
4.3 : 0.64 kg KOİ/m ³ .gün OYH değeri için çıkış değerleri (3000 mg/l).....	35
4.4 : 1.07 kg KOİ/m ³ .gün OYH değeri için çıkış değerleri (5000 mg/l).....	35
4.5 : 1.53 kg KOİ/m ³ .gün OYH değeri için çıkış değerleri (5000 mg/l).....	36
4.6 : 2.53 kg KOİ/m ³ .gün OYH değeri için çıkış değerleri (8000 mg/l).....	37
4.7 : 3.79 kg KOİ/m ³ .gün OYH değeri için çıkış değerleri (12000 mg/l).....	37
4.8 : 3.45 kg KOİ/m ³ .gün OYH değeri için çıkış değerleri (16000 mg/l).....	38
4.9 : 4.29 kg KOİ/m ³ .gün OYH değeri için çıkış değerleri (20000 mg/l).....	39
4.10 : 6.44 kg KOİ/m ³ .gün OYH değeri için çıkış değerleri (30000 mg/l).....	40
4.11 : Anaerobik hibrit reaktör KOİ giderme verimleri.....	40
4.12 : Yatışkın durum hibrit reaktör oluşan gaz miktarı.....	41
4.13 : Yatışkın durum metan yüzdeleri.	41
4.14 : Anaerobik hibrit reaktör oluşan gaz miktarı.	42
4.15 : Anaerobik hibrit reaktör metan yüzde değerleri	43
4.16 : Hibrit reaktörde OHY'ye göre UYA değişimleri.	44
4.17 : Hibrit reaktör çıkış pH değerleri.	45
4.18 : Anaerobik hibrit reaktör NH ₄ -N giderim verimi.....	47
4.19 : Aerobik reaktör çıkış KOİ konsantrasyonları.	48
4.20 : Aerobik reaktör KOİ giderim verimi.	48
4.21 : Aerobik reaktör NH ₄ -N giderim verimi.....	49

ÖZET

Ülkemiz süt ve süt ürünleri bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Süt ürünleri üretimine paralel olarak bu üretimden kaynaklanan atıksuların miktarı da artmaktadır. Süt ve süt ürünleri işleyen işletmelerden kaynaklanan atıksuların % 90'ını peyniraltısuyu oluşturmaktadır. Peyniraltı suları, peynir endüstrisinin protein ve laktoz bakımından zengin bir yan üründür. Biyolojik olarak ayrıştırılabilirliği çok yüksektir. Yüksek organik içeriğinin yanı sıra peyniraltı atıksularının biyolojik olarak arıtılabilirliği yüksektir. Bu tez kapsamında, peyniraltı atıksularının ardışık anaerobik hibrit reaktör/ aerobik sürekli karıştırmalı tank reaktörde arıtımı incelenmiştir. Anaerobik hibrit reaktörün ardından, kalan organik kirliliği parçalamak için aerobik sürekli tank reaktör kullanılmıştır. Sistemde değişik OYH (0.64 – 6.44 kg KOİ/m³.gün) ve 3.2 ve 4.4 gün hidrolik bekleme sürelerinde KOİ giderimi ve metan gazı miktarı ölçülmüştür.

Bu çalışmada, anaerobik hibrit reaktörde en yüksek KOİ giderim verimi % 90.9 olarak 3.2 gün HBS ve 2.53 kg KOİ/m³.gün ile elde edilmiştir. Artan organik yüklemelerde KOİ giderim veriminde kısmi düşmeler gözlenmiştir. Anaerobik hibrit reaktörde ölçülen en yüksek metan gazı yüzdesi % 63 olarak ölçülmüştür. Çalışma periyodu boyunca ortalama ölçülen metan yüzdesi % 53–54 civarındadır. Elde edilen sonuçlar peyniraltı atıksularının ardışık anaerobik hibrit reaktör/ aerobik sürekli karıştırmalı tank reaktörde arıtılabilirliğin yüksek olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: peyniraltı atıksuyu, hibrit reaktör, sürekli karıştırmalı tank reaktör, anaerobik arıtım

SUMMARY

Turkey is very rich country in terms of dairy and dairy products. The volume of wastewater that originated by dairy production have increased day by day in parallel increasing of dairy production. 90 percent of wastewater originated by dairy products is cheese whey wastewater. Cheese whey is a protein and lactose rich by product of the cheese industry and it is very biodegradable. Cheese whey wastewater has a high treatability feature in addition to it's high organic content. In the scape of the thesis, it was investigated in cheese whey wastewater treatment using sequential anaerobic hybrid reactor/ aerobic continuous stirred tank reactor. Aerobic continuous stirred tank reactor was used to remove of the residual organic matter after anaerobic hybrid reactor. COD removal efficiency and CH₄ gas quantity were measured in the anaerobic hybrid reactor in different organic loading rate (0.64 – 6.44 kg COD/m³.day) and hydraulic retention times (3.2 and 4.4 day), respectively.

In this study, maximum COD removal efficiency (90.9%) was obtained at 2.53 kg COD/m³.day OLR and 3.2 day HRT. COD removal efficiencies decreased with increasing OLR. The maximum methane percentage of the anaerobic hybrid reactor was 63%. During the operation period, average methane percentage is 53-54%. The result of the study showed that of the sequential anaerobic hybrid reactor/ aerobic continuous stirred tank reactor is high effective system in terms of cheese whey wastewater treatment.

Key words: Cheese whey, hybrid reactor, continuous stirred tank reactor, anaerobic treatment

1. GİRİŞ

Günümüzde, tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de hızlı nüfus artışına paralel olarak endüstriyel alandaki yatırımlar da giderek artmaktadır. Üretim ve tüketimdeki bu artış çıkan atık miktarını arttırmakla birlikte doğal dengenin bozunmasına neden olmaktadır. Doğanın bu şekilde kirlenmesi çevre kirlenmesi olarak nitelendirilir.

Endüstriyel kirlenme, gerek karşılaşılan kirlenme sorunlarının çok ve çeşitli olması gerekse doğanın korunması ve bu amaçla alınacak önlemlerin dengesi yüzünden en karmaşık kirlenme şeklini oluşturmaktadır. Endüstriyel atıksuların hiçbir işlem uygulanmadan alıcı su ortamlarına atılması bugün gelişen dünyanın en tehlikeli ve önemli sorunlarından birisidir. Araştırma sonuçlarına göre 2004 yılında Türkiye’de 17.5 milyon ton katı atık ve 638 milyon m³ endüstriyel atıksu oluşmuştur. Oluşan toplam katı atığın % 45’i satılmış veya hibe edilmiş, % 8’i tesis bünyesinde geri kazanılmış ve % 47’si ise bertaraf edilmiştir. Oluşan toplam atıksuyun % 36’sı artırılarak, % 64’ü ise artırılmadan alıcı ortamlara deşarj edilmiştir. Toplam oluşan katı atığın 1.2 milyon tonunun tehlikeli atık niteliğinde olduğu tespit edilmiştir (url-1, 2007). Endüstrileşme sürecinde, özellikle gıda, tekstil, kimya gibi sektörler öne çıkmaktadır (Yüceer, 2006).

Türkiye’de 24.000 dolaylarında gıda işletmesi bulunmaktadır. Gıda işletmelerinin % 56’sını un ve unlu mamuller, % 18’ini süt ve süt mamulleri, % 12’sini meyve sebze işleme, % 4’ünü bitkisel yağ ve margarin, % 3’ü şekerli mamuller, % 2.5’i et mamulleri ve % 4.5’lik kısmını ise alkolsüz içecekler, su ürünleri ve diğer gıda üretimi yapan işletmeler oluşturmaktadır (Özdemir vd., 2001). Gıda sanayi atıklarının değerlendirilmesi düşünüldüğünde atıkların kompozisyonu (karbonhidrat, protein, yağ gibi), toksik bileşenlerin varlığı (ağır metaller, herbisit ve insektisitler gibi), atığın bulunabilirliği, dönüştürülebilirliği, fiyatı, üretilen ürünlerin kullanımı, rekabet durumu, yatırım masrafı, sosyo-ekonomik ilişkiler mutlaka göz önüne alınmak durumundadır. Gıda endüstrisinde; zeytin işlenmesi esnasında ortaya çıkan karasu ve katı atık olarak pirina değerlendirilmesi gereken atıklara örnek olarak gösterilebilir. Bunun dışında peyniraltısu da son yıllarda çevre açısından problem teşkil eden endüstriyel atıksulardandır.

2008 faaliyet raporuna göre Türkiye’de üretilen toplam süt miktarı 13 milyon ton/yıl’dır (İTKM, 2009). Süt ve süt ürünleri işleyen işletmelerden kaynaklanan atıksuların % 90’ını peyniraltı suyu oluşturmaktadır. Peyniraltı suyu (PAS), sütün peynire dönüşümü sırasında pıhtılaşmayan, bileşiminde laktoz, protein, mineral madde ve yağ bulunan yeşilimsi-sarı renkte bir sıvıdır. Miktarı az, kirlilik derişimi yüksek ancak biyolojik parçalanabilirliği oldukça kolaydır.

Organik kirlilik yükü yüksek olan atıksular genellikle anaerobik yöntemlerle arıtılmaktadır. Anaerobik arıtma sistemlerinin az alan kaplaması, hızlı olması ve uygulanabilirliği sayesinde kullanımı oldukça artmıştır. Yüksek yükleme hızları, proses stabilitesi (kararlılığı) ve düşük çamur üretimi anaerobik proseslerin diğer biyolojik proseslere göre başlıca avantajları arasındadır. Yapılan araştırmalarda küçük ölçekli tesislerin varlığı ve arıtma tesislerinin bulunmayışı, endüstriyel su kirlilik kontrolünü zorlaştırmaktadır. Literatürde peyniraltı atıksularının anaerobik yöntemlerle arıtım çalışmalarına rastlanmakla birlikte anaerobik hibrit ve buna bağlı sürekli karıştırmalı tank reaktörde arıtılması ile ilgili çalışma bulunmamaktadır. Bundan dolayı yapılmış bu çalışmada kirlilik yükü yüksek olan peyniraltı suyunun anaerobik hibrit reaktörde ve buna bağlı aerobik sürekli karıştırmalı reaktördeki arıtım verimliliği incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Peyniraltı Suyu

Peyniraltı suları, süt endüstrisinin peynir yapımı sırasında sütün kazeininin çöktürülerek alınması işleminde ortaya çıkan içeriği zengin bir yan üründür. Sütün peynir ve kazeine işlenişi sırasında maya enziminden ve asitten etkilenmeyerek pıhtılaşmayan laktalbumin, laktoglobulin gibi serum proteinleri ile laktoz ve mineral maddelerden oluşur. Pıhtı oluşumunu sağlayan bu maya ve asitten dolayı pH değeri 4.4-6.6 arasında değişebilir. Yeşilimsi sarı renkte olup, rengini içerdiği laktoflavinden alır (Işık, 1999). Peyniraltı suları, peynir endüstrisinin protein (%10-15) ve laktoz (%70-75) bakımından zengin bir yan üründür (Frigon vd., 2009). Biyolojik olarak ayrıştırılabilir (~% 99) çok yüksek organik içeriğe sahiptir. 70000 mg KOİ/l’ye varan yüksek KOİ değeri ve düşük alkalinite (50 meq/l ya da 2500 mg/l CaCO₃) içerir (Mawson, 1994). Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, peynir üretim sürecine bağlı olarak 30000-60000 mg/l arasında değişir (Yenigün ve Mutlutürk,

1991). Çözünmüş KOİ derişiminin, toplam KOİ derişimine oranı yüksek olup (0.75), KOİ derişimi 95000 mg/l'ye kadar çıkabilir (Pala ve Sponza, 1994).

Yüksek miktarda katı madde içeren peyniraltı sularının çözünmüş şekli, içerdiği laktozdan dolayı oldukça fazladır. Peyniraltısuyu, işlenen sütün hacminin % 85-95'lik kısmını oluşturur ve süt besinlerinin % 55'i kadarını yapısında bulundurur. 1 kg peynir yapımı sırasında 9 kg peyniraltısuyu oluşur. Peyniraltı suyu mevsime bağlı oluşan, süt sanayinin yeniden işlenebilen ve değerli başka ürünlere dönüştürülebilen bir yan ürünüdür (Siso, 1996; Kalyuzhnyi vd., 1997). Bu zengin içeriğinden dolayı yeniden işlenerek veya doğrudan hayvan yemi olarak kullanımı gibi çeşitli alanlarında değerlendirmek ya da arıtmak gereklidir. Yıkama ve reaktörden peyniraltı suyunun deşarj edilebilmesi için gerekli çıkış KOİ değeri 2000-4000 mg/l'e düşmesi gerekmektedir (Frigon vd., 2009).

Peyniraltı suyundan laktik asit üretilebilmektedir ve laktik asit üretiminde en çok *Lb. delbrueckii spp. bulgaricus* suşu bakteri kullanılmaktadır. *Lb. delbrueckii spp. bulgaricus* ile laktozdan 37g/l laktik asit üretilmektedir. Ayrıca peyniraltı suyundan *Penicillium cyclopilum* ile tek hücre proteini ve *Lactobacillus* cinsi bakteriler ile biyosümfaktan madde üretilebilmektedir. *Lactobacillus pentosus* CECT-4023 suşu ile peyniraltı suyundan 1.4 g/l biyosümfaktan üretilmiştir (Hofvendahl ve Hahn-hagerdal, 2000).

Peynir işletmelerinde yapılan peynirin türüne göre iki çeşit peyniraltı suyu üretimi gerçekleşir; asidik peyniraltı suyu (pH<5) ve tatlı peyniraltı suyu (6<pH<7). Peyniraltı suyunun farklı işlenme biçimleri peynir üretimi sırasında kazeinin farklı şekillerde çöktürülmesi ile gerçekleşir. pH<5 olan peyniraltı suyunda daha yüksek kül ve daha az protein bulunmaktadır. Bu tür peyniraltı sularının sahip oldukları asidik tat ve yüksek tuz içerikleri nedeniyle besin olarak kullanımında önemli sınırlamalar bulunmaktadır (Mawson, 1994; Aktaş, 2003). Peynirin maya enzimi veya asit ile elde edilmesine göre özellikleri değişik olur. Asit ile yapılan peynirlerden süzülen atıksu ekşi peyniraltı suyunu oluştururken, maya enzimi ile yapılan peynirlerden süzülen atıksu tatlı peyniraltı suyudur. Aralarındaki en önemli fark, içerdikleri laktoz ve laktik asit miktarından kaynaklanmaktadır (Işık, 1999; Farizoğlu, 1996). Aşağıda Tablo 2.1'de arasındaki taz peyniraltı suyunun birleşimi verilmektedir.

Tablo 2.1 Taze peyniraltı suyunun birleşimi (url-2,2009)

Bileşenler	Tatlı Peynir Suyu (Maya Peynir Suyu)	Ekşi Peynir Suyu (Asit Peynir Suyu)
Su	% 93-94	% 94-95
Kuru madde	% 6-7	% 5-6
Yağ	% 0.3-0.4	% 0.1
Laktoz	% 4.5-4.7	% 3.8-4.2
Kazein(Peynir kırıntısı)	% 0.05-0.1	% 0.05-0.1
Serum proteinleri	% 0.8-1.0	% 6
Mineral maddeler	% 0.5-0.7	% 0.7-0.8
Kalsiyum	0.06-0.1 g	0.1-100 g
Laktik asit	% 0.1-0.2	% 0.5(0.7)
Sitrik asit	% 0.1	% 0.1
pH değeri	6.4-6.0	4.8-4.4

2.1.1 Peyniraltı suyunun bileşimi

Peyniraltı suyunun bileşiminde yaklaşık olarak % 6.96 oranında süt kuru maddesi bulunmaktadır. Bunda % 0.36 yağ, % 0.84 protein, % 5.76 laktoz ve tuzlar, % 0.2 kadar laktik asit yer almaktadır. Bu değerler çeşitli etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Sütün bileşimi ve kullanılan peynir işleme yöntemlerine göre içerik değişmektedir. Peyniraltı suyunda vitaminler de yer almaktadır. Vitamin A çoğunlukla yağla birlikte peynire geçmekte çok az bir kısmı peyniraltı suyunda kalmaktadır. Vitamin B1, B2 ve C suda çözündüklerinden peynir suyunda kalmaktadır. Vitamin D çok az bulunmaktadır. Bunlardan başka peyniraltı suyunda potasyum oksit % 0.188, sodyum oksit % 0.075, kalsiyum oksit % 0.071, magnezyum oksit % 0.018, demir oksit % 0.001, fosforpentoksit % 0.11, klor % 0.107 ve kükürt trioksit % 0.029 kadar bulunmaktadır (Kurt, 2003).

Peynir yapımından kalan yaklaşık % 4-5 oranında laktoz içeren peyniraltı suyu mikrobiyolojik işlemler için iyi bir hammadde kaynağıdır. Peyniraltı suyunda bulunan kalsiyum, fosfor ve laktoz besin değerini yükseltmektedir. Peyniraltı suyu proteinleri yüksek nitelikli olup hayvanların beslenmesinde önemli bir kaynaktır. Tablo 2.2’de 100 ml peyniraltı suyundaki kuru madde bileşimi gösterilmiştir.

Tablo 2.2 100 ml peyniraltı suyunun kimyasal bileşimi (Aktaş, 2003)

Bileşen	Miktar	Ölçü Birimi
Kuru madde	6.3-7.0	g
Yağ	0.05-0.4	g
Ham protein	0.85-1.15	g
Karbonhidrat	4.6-5.2	g
Kül	0.5-0.6	g
Laktoz	4.6-5.2	g
Laktik asit	0.05-0.2	g
Sitrik asit	0.14-0.17	g
Kazein	0.04-0.05	g
α -laktoglobulin	0.12	g
β - laktoglobulin	0.32	g
Serum albümün	0.40	g
Immünoglobulinler	0.70	g
Na	36-51	mg
K	140-160	mg
Ca	40-50	mg
Mg	8-10	mg
Fe	0.10	mg
Cl	70-120	mg
P	40-55	mg
S	15-18	mg
Tiamin	0.03-0.05	mg
Riboflavin (B2)	0.1-0.16	mg
Piridoksin	0.04-0.07	mg
Vitamin C	0.9-1.5	mg
Vitamin A	0.002-0.004	mg

Dünyanın genelinde üretilen peyniraltı suyunun yaklaşık % 50 kadarı işlenmekte ve çeşitli besin ürünlerine dönüştürülmektedir. Bu miktarın yaklaşık % 45'i doğrudan sıvı formda, % 30'u tozlaştırılmış peyniraltı suyu formunda, % 15'i laktoz ve delaktoz yan ürünleri şeklinde ve geri kalanı ise peyniraltı suyu proteini

yoğunlaştırılmış olarak kullanılmaktadır. Peyniraltı suyunun BOİ değerinin % 75'inden fazlası biyogaz, etanol, tek hücre proteini ve diğer pazarlanabilir ürünlere dönüştürülerek ya da doğrudan biyolojik arıtım yöntemleri kullanılarak giderilmektedir. Buna rağmen dünya peyniraltı suyu üretiminin % 50'ye yakın kısmı halen atık olarak alıcı ortamlara boşaltılmaktadır.

Peyniraltı suyunun sıvı şekilde kullanımı

Peyniraltı sularının doğrudan kullanım şekli olan sıvı şekilde tüketimi iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Birincisi; herhangi bir işlem uygulanmadan çiftlik hayvanlarının içme suyuna karıştırılarak bir hayvan besini olarak kullanılmasıdır.

Yüksek miktarda protein ve laktoz içeren peyniraltı suları bunun yanı sıra Ca, Mg, P ve suda çözülmüş vitaminler içermesi nedeniyle oldukça değerli bir besin özelliğine sahiptir. Ancak yüksek laktoz ve mineral madde içeriği nedeniyle sıvı formda kullanımı oldukça sınırlıdır. Peyniraltı sularının sıvı formda doğrudan kullanımının bir diğer şekli de toprağa gübre olarak verilmesidir. Ancak yüksek tuz içeriği ve taşımada karşılaşılan sorunlar nedeni ile bu şekilde kullanımı kısıtlıdır ve toprakta fazla miktarda tuz depolanmasına neden olabilir (Siso, 1996; Ergüder vd., 2001; Malaspina vd., 1996)

Peyniraltı suyunun yoğunlaştırılarak veya tozlaştırılarak kullanımı

Toz haline getirme veya yoğunlaştırma işlemi ile taze peyniraltı sularının niteliği artırılarak hem raf ömrü uzamakta hem de taşımada kolaylıklar sağlanmaktadır. Amaca uygun olarak farklı şekillerde deriştirmek mümkündür. Asidik veya tatlı peyniraltı suyu tozu, demineralize peyniraltı suyu tozu, laktozu alınmış peyniraltı suyu tozu, deproteinize peyniraltı suyu tozu, yağca zenginleştirilmiş peyniraltı suyu tozu gibi formlarda toz ürünler elde edilebilir (Aktaş, 2003).

Üretilen bu toz ürünler, melas ve soya unu ile karıştırılarak hayvan yemi olarak kullanıldığı gibi, düşük oranlarda insan yiyeceklerine karıştırılarak da değerlendirilebilir. Bu yiyeceklerin başında bebek mamaları, dondurmalar, kekler, tatlandırıcılar ve süt ürünleri gelmektedir.

Peyniraltı suyunun protein konsantresi olarak kullanımı

Süt proteininin yaklaşık % 20'si peyniraltı suyuna geçmektedir. % 50 β -laktoglobulin, % 12 α -laktoglobulin, % 10 immünoglobulinler, % 5 serum albümin

ve % 0.23 proteaz pepton peyniraltı suyundaki proteinlerin başlıcalarıdır. Biyolojik değeri tüm yumurta proteinlerinden daha yüksek olan peyniraltı suyu proteinleri, diğer süt proteinlerine oranla daha fazla amino asit içermektedir. Peyniraltı suyunun tuzlardan arındırılarak protein konsantrisi haline getirilmesinde ultrafiltrasyon ve diafiltrasyon işlemleri kullanılmaktadır. Proteinin yapısı bozulmadan peyniraltı suyu proteinlerinin % 30-60 kadarının geri kazanılmasını sağlayan bu yöntemlerde maliyet düşük ve süreç hızı yüksektir (Aktaş, 2003).

Laktoz ve türevlerinin üretimi

Laktoz (süt şekeri), peyniraltı suyunun kristallendirilmesi ile elde edilir. Bebek mamalarında, hafif tat verme özelliğinden dolayı ilaç üretiminde kullanılır. Laktoz saflaştırma süreçleri 1940'da bulunduğu halde dünyadaki üretimin ancak % 5'i bu amaçla kullanılmaktadır. Ayrıca laktozun hidrolizi ile elde edilen glikoz ve galaktozun doğrudan fermentasyonda kullanılmasına ilişkin süreçler de bulunmaktadır (Aktaş, 2003). Hidrolize edilmiş laktoz çözeltileri, laktoza oranla daha tatlı olduğundan tatlı sektöründe kullanılabilir. Glikoz, izomeraz enzimi kullanılarak fruktoza dönüştürülmekte ve daha yüksek oranda tatlandırıcılar elde edilebilmektedir. Laktozun tatlandırma derecesi laktitola indirgenmesiyle olasıdır ve böylece düşük kalorili yiyeceklerde katkı olarak kullanılabilir.

Etanol üretimi

Son yıllarda laktoz fermentasyonu ile etil alkol üretim süreçleri oldukça önem kazanmaktadır. İrlanda, ABD ve Yeni Zelanda'da peyniraltı suyunda yüksek miktarda bulunan laktozun etanole fermentasyonu amacıyla kurulmuş birçok büyük ölçekli tesis bulunmaktadır. Özellikle Yeni Zelanda'da üretilen peyniraltı suyunun % 50'si etanol üretiminde kullanılmaktadır (Siso, 1996).

Laktozdan etanol üretimindeki kuramsal verim 0.538 kg etanol/laktoz'dur, fermentasyon çalışmalarında bu değerin % 80-85'ine ulaşılmıştır. İşletme maliyeti yüksek olduğundan deriştirilmemiş peyniraltı suyundan etanol üretimi önerilmez. Çünkü böyle ortamlarda % 2'lik bir etanol derişimine ulaşılır ve bunu da damıtmak oldukça masraflıdır. Bu nedenle sürecin ekonomik olarak etkin hale getirilebilmesi için peyniraltı suyundaki laktozun deriştirilmesi gerekmektedir.

Bazı mikroorganizmaların yüksek laktoz derişimlerinde % 90'dan fazla dönüşüm ile etanol ürettikleri belirlenmiştir. Ayrıca sürekli sistemde etanol üretimi, hem derişik hem de seyreltik laktoz çözeltilerinde gerçekleştirilmiştir.

Tek hücre proteinlerin üretimi

Tek hücre proteini, mantar, maya, bakteri ve alg gibi çeşitli mikroorganizmaların çoğalmaları sonucu, bu mikroorganizmalara ait canlı hücrelerin büyümesi ile elde edilen biokütledeki proteinlerdir. 1940'lı yıllardan bu yana mikrobiyal biokütle üretimi endüstriyel boyutlarda gerçekleştirilmektedir. Fransa, ABD, Almanya ve Avustralya'da büyük ölçekte tek hücre proteinleri üretimi yapılmaktadır. *Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces fragilis*, *Torulopsis bovina* bu amaçla kullanılan mikroorganizmalar olup peyniraltı suyunda iyi büyümektedirler. Kullanılan peyniraltı suyuna göre süreç çoğu zaman % 100 başarılı olmayabilir, çoğu kez fermentasyon ortamına dışarıdan azot ve fosfor eklemek gerekebilir. Böyle süreçlerde düşük pH (3.5) ve yüksek sıcaklık (38 °C) koşulları sağlanmalı ve denetlenmelidir. Bu şekilde fermentasyona başka mikroorganizmaların bulaşma riski azaltılmış olur (Siso, 1996; Mawson, 1994).

Biyogaz üretimi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi de biyogazdır. Biyogaz organik atıkların oksijensiz ortamda fermente olması sonucu oluşan yanıcı gazdır. Biyogaz teknolojisi özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sürekli gündemde kalan ve önemini artıran alternatif enerji kaynağıdır (Sözer ve Yıldız, 2006). Peyniraltı suyunun anaerobik fermentasyonu ile biyogaz ve metan üretimi uzun zamandan bu yana endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla pek çok anaerobik reaktör geliştirilmiştir (Mawson, 1994; Yan vd. 1989). Bu reaktörler ile peyniraltı suyunun BOİ ve KOİ değeri önemli oranda azalırken biyogaz ve metan oluşumu gerçekleşmektedir. Peyniraltı atıksuyunun arıtılması sırasında oluşan biyogazın bileşimi Tablo 2.3'te gösterilmektedir.

Tablo 2.3 Peyniraltı atıksuyunun arıtılması sırasında oluşan biyogaz bileşimi
(Eryılmaz, 1981)

Gazın cinsi	Yüzde Bileşimi
Metan (CH ₄)	54-80
Karbondiyoksit (CO ₂)	20-45
Azot (N ₂)	0-1
Karbonmonoksit (CO)	0.1
Oksijen (O ₂)	0.1
Hidrojen sülfür (H ₂ S)	Az miktarda

Sözer ve Yıldız'ın (2006) yaptığı sığır gübresi ve peyniraltı suyu karıştırılarak yaptıkları çalışmada % 50 sığır gübresi ve % 50 peyniraltı suyu ilavesiyle 25,47 l/gün oranında biyogaz üretim potansiyelini göstermektedir.

Sıcaklığın ve alıkonma süresinin organik maddelerin anaerobik fermentasyonuna etkisinin araştırıldığı çalışmada, uygulanan tüm alıkonma sürelerinde, 40 ve 60 °C sıcaklıklarda biyogaz üretim verimi ve KOİ giderim verimlerinin maksimum olduğu gözlenmiştir. Ancak 60 °C'de ısıtma gereksinimlerinden dolayı ve 40 °C'den yüksek sıcaklıklarda üretilen biyogazdaki metan içeriğinin azalmasından dolayı, anaerobik işlemin 30-40 °C arasındaki sıcaklıklarda yapılmasının uygun olacağı belirtilmiştir (Desai vd., 1994).

Biyogaz, çok yönlü bir enerji kaynağı olarak doğrudan ısıtma ve aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi, elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye çevrilerek de kullanımı mümkündür. Ayrıca biyogaz üretimi sonucu ortaya çıkan yan ürünler de çeşitli amaçlarla kullanılabilir.

Diğer ürünler

Bugüne kadar pek çok araştırmaya konu olan peyniraltı suyundan yukarıda sayılanların dışında yeni biyolojik ürünler elde etmek amacıyla yapılan çalışmalar hala devam etmektedir. Peyniraltı suyundan, gıda sektöründe sıkça kullanılan propiyonik asit, asetik asit, laktik asit, laktobiyonik asit, sitrik asit, glukonik asit ve itakonik asit gibi organik asitlerin üretiminde yararlanılmaktadır. Ayrıca peyniraltı suyunun farklı mikroorganizmalar tarafından fermentasyonuyla elde edilen diğer ürünler de B12 (kobalamin), B2 (riboflavin) vitaminleri ve glutamik, lizin ve treonin aminoasitleridir.

Peyniraltı suyunun mayalar tarafından fermentasyonu ile gliserol de üretilmektedir. Ayrıca petrol sondajlarında, tekstilde, gıda sektöründe emulsüfiyer ve stabilizör olarak kullanılan ksantan yapıştırıcısı da peyniraltı suyunun fermentasyonu ile elde edilir. Son zamanlarda peyniraltı suyunun anaerobik fermentasyonu ile kalsiyum ve magnezyum asetat üretimi de mümkündür. Ayrıca bitki hormonları, gibberilik asit ve enzimlerin temel yapı taşlarının eldesinde peyniraltı suyu bileşimi uygun bir ortamdır (Aktaş, 2003).

2.1.2 Peyniraltı suyunun kirletici özellikleri

Süt endüstrisinden kaynaklanan atıksularda, en büyük kirletici kaynağı, peynir üretimi sonucu oluşan ve kirletici özelliği yüksek olan peyniraltı suları oluşturmaktadır. Kısaca belirtmek gerekirse peynir için işlenen 100 kg sütün, yaklaşık 90 kg'ı peyniraltı suyunu oluşturmaktadır. Ülkemizde yılda 40.000 ton peynir üretiminin bulunduğu göz önüne alınırsa 360.000 ton peyniraltı suyu oluşmaktadır. Bu durumda hem önemli ölçüde besin savurganlığına hem de arıtılmadan alıcı ortamlara verilebilen bu tür atıksular çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Büyük kapasiteli işletmelerde peynir suyunun değerlendirilmesi yoluna gidilmekte ise de peynir üretiminin büyük bir çoğunluğunun yapıldığı mandıralarda böyle bir değerlendirme yapılamamaktadır. Peyniraltı suyundaki % 1.5 oranındaki katı madde lor olarak alınmaktadır. Ancak, peyniraltı suyunda % 5.5-6.6 oranında katı madde bulunmaktadır. Toz haline getirildiğinde bunun tamamı alınmaktadır. Küçük işletmeler tarafından yapılan bu lor alma işleminden sonra yine atıksu oluşmakta, dolayısıyla kirletici etkisi giderilememektedir. Toz haline getirme işleminde ise, su tümüyle uçurulduğu için herhangi bir atıksu oluşmamakta ve durum çevre kirliliğinin önlenmesi açısından önem taşımaktadır. Ancak üretimdeki fazlalık nedeniyle peyniraltı suyu oluşumu fazla miktarda gerçekleşmektedir (Yüceer, 2006).

Peyniraltı suyunun asit ve yağ oranı yüksek olması nedeniyle arıtılması da pahalı olmaktadır. Bugün ülkemizde süt işletmeciliği yapan tesislerin çoğunun ilkel koşullarda çalışan küçük kapasiteli işletmeler olması; arıtma için gerekli olan altyapının yapılmasını ekonomik açıdan güçleştirmekte, bu nedenle birçok işletme arıtma tesisi yapmaktansa bu suları doğrudan alıcı ortama vermeyi yeğlemektedirler. Peyniraltı suları, kesinlikle arıtılması gereken bir atıktır.

2.1.3 Peyniraltı sularının arıtılması

Dünyada modern anlamda ilk atıksu tesisi, 1842 yılında Hamburg'da inşa edilmiştir. Bundan 12 yıl sonra da, 1855'de, Chicago'da, ilk kanalizasyon yapımına başlanmıştır. Arıtım tesislerinin yapımı ise 1870 yılından sonradır. O tarihten beri yalnız A.B.D.'de yapılan atıksu arıtım tesislerinin sayısı 15000'i geçmiştir. Geçen zaman içinde teknolojide ve arıtma tekniklerinde büyük gelişmeler olmuş, aynı zamanda çevre ile ilgili kavramlar ve yönetmelik esasları da değişmiştir (Muslu, 1994).

1930'lardan beri atıksuların hem aerobik hem de anaerobik olarak biyolojik arıtımı gerçekleştirilmektedir.

Peyniraltı suyunun biyolojik olarak arıtılması uygulamalarına ise 1980'den sonra başlanmıştır. O yıllarda peynir üretim tesislerinde oluşan peyniraltı atık suyunun çevre kirliliği açısından önemli bir sorun olduğu fark edilmiş ve bu problemin çözümü için düşük maliyetli etkin arıtım teknikleri araştırılmıştır. Özellikle 1990 yılından itibaren geliştirilen süreçler hem uygulama açısından hem de verimlilik açısından oldukça fazla ilgi görmüştür.

PAS, protein ve laktozca zengin olan peynir endüstrisinin bir yan ürünüdür. Biyolojik olarak ayrıştırılabilir (~% 90), 70000 mgKOİ/l'ye kadar varan çok yüksek organik içeriğe sahiptir ve düşük alkalinite (50 meq/l ya da 2500 mg/l CaCO₃) içerir (Mawson, 1994). Bu yüksek organik yüke sahip peyniraltı atıksuyu arıtımına en uygun çözüm, havasız arıtımı izleyen havalı arıtım sürecinin birlikte kullanılmasıdır. Peynir altı suyunun, havasız arıtımı yeni bir süreç değildir. Pek çok laboratuvar ve pilot ölçekli arıtım çalışmaları yapılmıştır. Fakat büyük çoğunluğu, arıtılması kolay olan seyreltilmiş olan atık sudur (Yan vd., 1989; Cohen vd., 1994). PAS'nun fazla yüksek organik içeriği, ek oksijenin pahalıya malolmasından dolayı geleneksel havalı biyolojik arıtım uygulanmasını engeller. Havasız arıtmada ek oksijene gerek yoktur ve metan gazı formunda önemli miktarda enerji üretilir (Ergüder vd. 2001). Yukarıda bahsedilen yararlar rağmen Malaspina vd. (1995), işlenmemiş PAS'nun havasız olarak arıtımı için biraz sorunlu bir besin olduğunu belirtmiştir. Bu sorunlar: yüksek KOİ derişimi, düşük alkalinite, asitleşmeye hızlı eğilim, zor granül oluşumu ve çamur çökebilme yeteneğini şiddetli bir şekilde azaltan ve biyokütlenin kaybına

(çamur yıkama sorunu) neden olabilen bakteriyel kaynaklı yapışkan ekzopolimerik materyalinin aşırı üretim eğilimidir (Malaspina, 1995).

Peynir üretim süreçlerinden gelen yüksek organik içerikli atık suyun arıtımı için uygulanabilir en uygun yöntem havasız arıtmadır. Yüksek organik madde içeriği nedeniyle oluşan düşük verim ve kararsızlık sorunlarını azaltmak için, peyniraltı suyunu başka atık sularla karıştırarak seyreltme yapılabilir. Özellikle yüksek hızlı havasız sistemler olan yukarı akışlı havasız çamur yataklı reaktörlerde (YAÇY) ve yukarı akışlı havasız filtrelerde bu uygulanabilir (Mendez vd., 1989).

İki adet pilot ölçekli YAÇY reaktörü kullanan (Cohen vd., 1994) tarafından peynir altı suyunun iki kademeli havasız arıtım çalışmaları yürütülmüştür. Peynir altı sularının ve süthane atık sularının arıtımına bir diğer olası seçenekte biyolojik ve kimyasal iki arıtım yönteminin birleşimidir (Barford vd., 1986; Fang 1991). Yine Malaspina ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada PAS, aşağı akışlı-yukarı akışlı hibrit reaktörü kullanılarak arıtılmıştır. Bu sistem ön asitleştirme bölgesinden (pH=6.5-6.7) ve sonrasında pH 7.5 civarında olan biyometanlaşma bölgesinden oluşmaktadır. Bu işlemlerin sonucunda ise hala giderilmesi gereken organik yükün var olduğu, bunu gidermek için ise ardışık kesikli reaktör (AKR) olan havalı arıtma sistemini kullanarak KOİ, azot ve fosfor giderim verimlerinin %90'dan fazla değerine ulaşıldığını belirtmiştir (Malaspina, 1995).

2.2 Anaerobik Arıtma

Anaerobik arıtma, kirliliğin azaltılmasında, özellikle gıda üretimi yapan ve tarıma dayalı endüstrilerin (seker, maya, mısır, alkol, süt ürünleri, selüloz ve kâğıt) atıksularına uzun süredir uygulanmaktadır. Anaerobik arıtma sistemlerinin az alan kaplaması, hızlı olması ve uygulanabilirliği sayesinde kullanımı oldukça artmıştır. Yüksek yükleme hızları, proses stabilitesi (kararlılığı) ve düşük çamur üretimi anaerobik proseslerin diğer biyolojik proseslere göre başlıca avantajları arasındadır. Anaerobik arıtma uygulamalarındaki artışın en önemli sebeplerinden biri net enerji üretimidir. Bu prosesler işletimlerinde harcanan enerjiden daha fazla enerji üretebildiği gibi, aynı zamanda üretilen biyogaz, fosil yakıtların yerine kullanılmaktadır. Bu sayede sera gazı etkisinin azaltılmasına da olumlu katkıda bulunmaktadır. Bu durum atıksu arıtımında anaerobik proseslerin gelecekteki önemini arttırmaktadır.

Anaerobik arıtma organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik süreçlerle parçalanarak CH₄, CO₂, NH₃, ve H₂S gibi son ürünlere dönüştürülmesi işlemidir.

Anaerobik arıtmanın avantajları:

- Yüksek yükleme hızı: Kirlilik oranı yüksek atıksuların arıtımında kullanılmaya uygundur.
- Düşük işletme maliyeti: Besi maddesi sağlama ve biokütle atığının bertaraf maliyeti.
- Kararlılık: Aerobik arıtmaya göre kararlılıkları yüksektir.
- Az arıtma çamuru üretimi: Substratın (atıksuda bulunan parçalanabilir organik maddenin) büyük bölümü biyogaza dönüştüğünden, çamur üretimi oldukça düşüktür. Havasız arıtma sistemlerinde oluşan biyolojik çamur miktarı havalı sistemlere göre çok azdır. Genelde havalı arıtmaya giren 100 gram Toplam Organik Karbondan (TOK) takriben 50 gram biyolojik çamur oluştuğu halde anaerobik arıtmada buna karşı ortaya çıkan biyolojik çamur miktarı 1 ila 5 gram civarındadır. Dolayısıyla havasız arıtmada giderilen organik karbonun %90-98'i biyogaza (CH₄ - metan) dönüştürülür (Öztürk, 1999).
- Az enerji ihtiyacı: Aerobik arıtmaya göre enerji ihtiyacı yok denecek kadar azdır, ayrıca ürettiği metan gazı sayesinde kendi enerji ihtiyacını karşılayabilir.
- Biyoenerji olarak kullanılabilen metan gazı üretimi: Üretilen metan gazı hem hava kirlenmesi açısından kontrol edilebilirdir, hem de enerji olarak kullanılabilir.
- Az alan kaplaması: Organik yüklemenin fazla olması nedeniyle alan küçüktür.

Anaerobik arıtmanın dezavantajları:

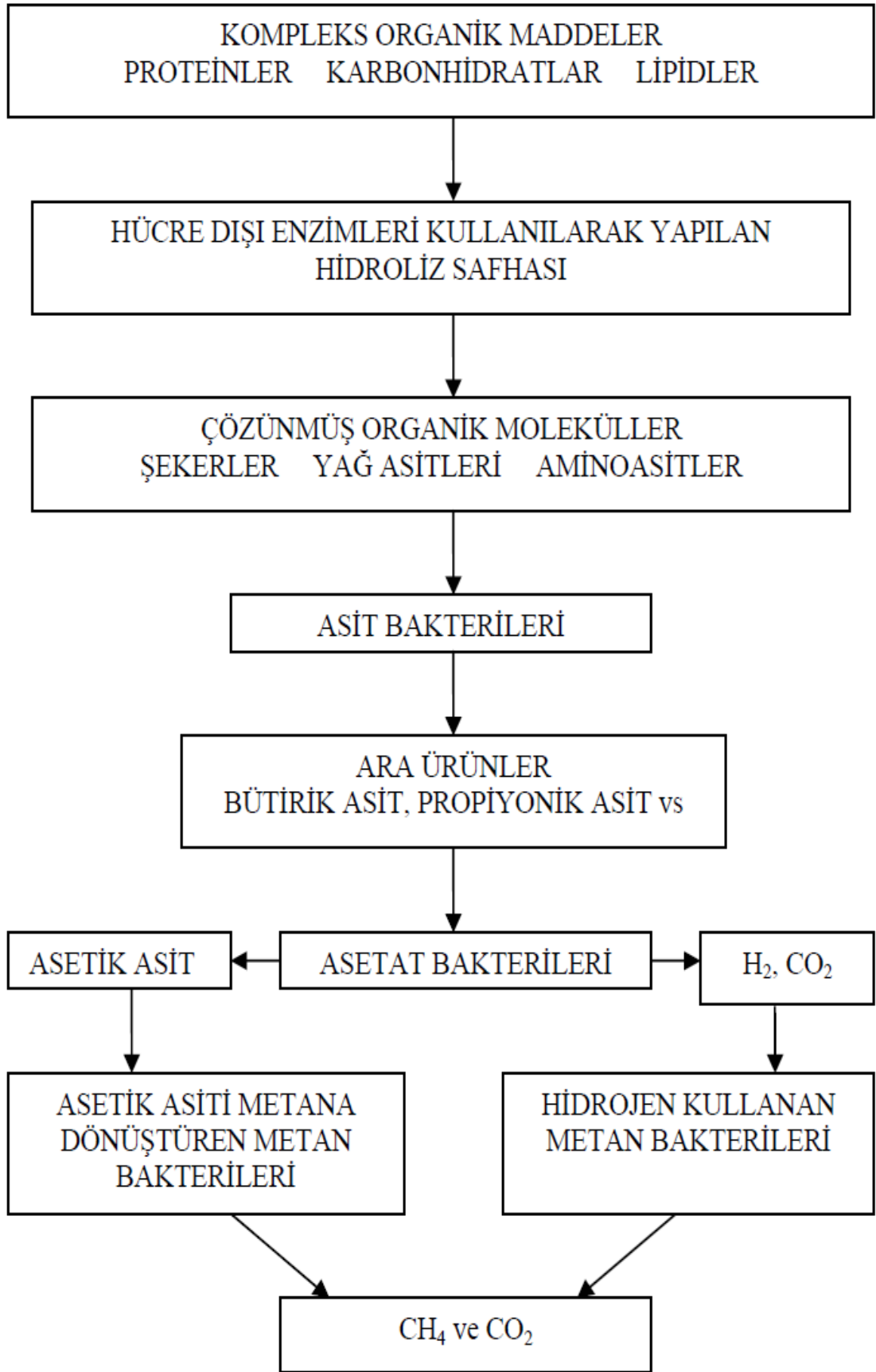
- Yüksek kurulum maliyeti

- Uzun işletmeye alma süresi: Biokütle gelişimi için uzun bir başlangıç evresi gerekmektedir.
- Hassas ve zor proses kontrolü: Kontrol edilmesi gereken sistemdeki parametre belirsizlikleri, lineersizlikler ve değişkenlerin karşılıklı etkileşimleri sonucunda proses kontrolü zordur.
- Çevresel faktörlerden etkilenme: Metanojenler toksik maddelere ve çevre şartlarına aşırı duyarlıdır.

2.2.1 Anaerobik arıtma süreci

Anaerobik arıtma, kompleks ve askıdaki organik maddelerin havasız ortamda ayrışması temeline dayanan ve bu sırada oluşan çok adımlı biyokimyasal tepkimelerden oluşan biyolojik bir süreçtir. Bu tür arıtım sürecinde havasız ortamda yaşayan asit bakterileri ve metan bakterileri olmak üzere 2 tür bakteri grubu görev almaktadır.

Önce polisakkaritler, proteinler ve lipitlerden oluşan polimerik yapıdaki kompleks maddeler hücre dışı enzimler yardımıyla hücre zarından geçebilecek kadar küçük boyuttaki çözünebilir ürünlere dönüşürler. Basit ve çözünebilir yapıdaki bu bileşikler fermantasyon veya anaerobik oksidasyonla kısa zincirli yağ asitlerine, uçucu yağ asitlerine, alkollere, karbondioksite, hidrojene ve amonyağa dönüşürler. Sürecin son aşamasında asetatın parçalanması veya H_2 ile CO_2 'nin sentezi yoluyla metan (CH_4) üretimi gerçekleştirilir. Şekil 2.1'de anaerobik arıtımın şematik gösterimi verilmektedir.



Şekil 2.1 Organik maddelerin anaerobik ayrışma aşamaları

Hidroliz

İlk asama olan hidroliz aşaması süresince, hidroliz bakterileri organik maddeleri basit bileşenlerine ayırırlar. Oldukça yavaş bir süreçtir, özellikle yağlar, lignin ve bazı selüloz gibi yavaş hidrolize olan maddeler içeren atıkların havasız arıtımında hidroliz, hız sınırlayıcı bir faktör olmaktadır. Reaksiyon hızını etkileyen en önemli faktörler pH, sıcaklık ve çamur yaşı olarak adlandırılan mikroorganizma bekleme süresidir.

Asit Üretimi

Asit üretimi olarak adlandırılan ikinci aşamada iki farklı bakteri grubu yer almaktadır. Birinci grup bakteriler organik polimerlerin hidrolizinde ve bunun ardından açığa çıkan hidroliz ürünlerinin organik asit ve solventlere dönüştürülmesinde rol alırlar. Bazı asidojenik bakteri türleri karbohidratları kullanarak asetik asit üretirler. Asetik asit bakterileri aynı zamanda H₂ üreten asetojenik bakteriler olarak da adlandırılır. Asit üretim hızı metan üretim hızına göre daha yüksek olduğundan, çözülmüş organik maddelerin asit bakterileri tarafından ara ürünlere dönüştürülmesi sistemde asit birikimine yol açar. Bu durum bir sonraki adım olan metan üretimi aşamasında inhibisyona sebep olabilir.

Metan Üretimi

Metan üretimi oldukça yavaş bir süreçtir ve genellikle anaerobik arıtmada hız sınırlayıcı aşama olarak kabul edilir. Asetik asitin parçalanması sonucu CH₄ (metan) elde edilir. Anaerobik reaktörlerde üretilen CH₄'ün yaklaşık % 30'u H₂ ve CO₂'den, % 70'i ise asetik asidin parçalanmasından oluşmaktadır (Öztürk, 1999). H₂ ve CO₂ kullanarak metan üreten bakteriler, asetik asit kullanan bakterilere göre çok daha hızlı çoğalırlar.

Mevcut bilgiler incelendiğinde üç grup bakterinin (asetojen, asidojen ve metanojen) birlikte çalışması gerekliliği görülmektedir (Öztürk, 1999). Asetat kullanan metan bakterileri fermantasyon bakterileri ile ortak çalışarak asetik asit konsantrasyonunu ve pH'yı kontrol ederler. Fermantasyon bakterilerinin çoğalma hızlarının asetat kullanan metan bakterilerinininkine göre daha yüksek olması sebebiyle, organik yükün artmasıyla birlikte asit üretimi devam etmesine karşılık, metan üretim hızı düşebilir, bu da aşırı uçucu yağ asidi birikimine neden olur. Bu durum biyogaz çıkısındaki H₂ konsantrasyonunun izlenmesiyle tespit edilebilir. Gaz fazındaki H₂

konsantrasyonunun artmasıyla hidrojen kullanan bakterilerce CO₂ ve H₂'den CH₄ üretimi azalmaktadır. Bunu basit şekilde anlatmak için sisteme ani olarak glikoz verildiğinde gerçekleşen aşağıdaki reaksiyon gösterilebilir (Öztürk, 1999).

Fermantasyon bakterileri bu sok yüke kısa sürede uyum göstererek asetik asit üretirler. Bunun sonucunda pH düşer ve metan bakterilerinin gerçekleştirdiği reaksiyonların hızı yavaşlayarak ortamda H₂ birikmesi olur. Reaktörde H₂ konsantrasyonunun artması istenmeyen bir durumdur. Toplam asit üretim hızının düşmesine ve sistemin kararlı hale dönebilmesi için zaman gecikmesine neden olur. Ayrıca bu durum karsısında bütirik ve propiyonik asit konsantrasyonlarının artmasıyla, asetik asit üretimi ve asetat kullanan metan bakterilerinin CH₄ üretmeleri engellenir.

Hidrojen üreten ve kullanan bakteriler için hidrojenin kısmi basıncı ile serbest enerji seviyesi arasında önemli bir ilişki vardır. H₂ kullanan metan bakterilerinin maksimum hızla faaliyeti için H₂ kısmi basıncının 10⁻⁴~10⁻⁶ Atm. aralığında tutulması önemlidir.

Anaerobik arıtım süreçleri için optimum çevre koşulları

Anaerobik arıtma süreçleri kullanılarak atık sulardaki yüksek organik yüklü maddelerin giderimi düşük maliyet ile gerçekleştirilmektedir. Ancak, çeşitli atık suların arıtımında çevresel koşullar, bu sürecin uygulanmasında bazı güçlükler çıkarmaktadır. Bunun yanında, mikroorganizmaların metabolik aktivitelerinin değişen çevresel koşullara karşı uyum sağlayabilmeleri anaerobik arıtma sistemlerinin bir üstünlüğüdür.

Fakat asit bakterileri, değişen çevresel koşullara karşı metan bakterilerine göre daha kolay uyum sağlayabilmekte ve ortamda baskın hale gelmektedirler. Bunun sonucunda anaerobik reaktörde, uçucu yağ asitleri birikmeye başlayarak sistemin kararlılığını bozarak bir dengesizliğe neden olmaktadır. Bu sorun, anaerobik arıtma sistemlerinde sıkça görülen bir durumdur. Çevresel etkenlerdeki ani değişimler süreç veriminin büyük ölçüde azalmasına neden olabilir.

Tablo 2.4'de anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevre koşulları gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Anaerobik mikroorganizmalar için optimum çevre koşulları (Öztürk, 1999)

Parametre	Optimum Şartlar
Arıtılan atığın bileşimi	Karbon, temel (N,P) ve iz elementler bakımından dengeli olmalı, O ₂ , NO ₃ , H ₂ O ₂ , SO ₄ gibi oksitleyici maddeler, zehirli ve ,yavaşlatıcı elementler içermemeli
KOİ/N/P	300/5/1
pH	6.5-8.2
Sıcaklık	25-40(35-37)°C~50-60(55)°C
Alkalinite	1000-4000 (2000)mg/l CaCO ₃
UYA	< 1000-1500 mg/l Asetik asit olarak
UYA/Alkalinite	< 0.1

2.2.2 Anaerobik arıtma sistemleri

Son yıllarda farklı türdeki endüstriyel atık suları arıtabilmek amacıyla çeşitli reaktör tipleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Buna göre anaerobik süreçler mikroorganizmaların askıda yada sabit film halinde olmalarına göre iki ana grupta incelenmiştir.

- Askıda büyüme sistemleri: Geleneksel anaerobik reaktörler, temas süreçler ve yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörlerdir. Temas süreçlerin ve anaerobik çamur yataklarının performansları, mikroorganizmaların çökeltme özellikleri iyi olan yumak veya granül oluşturabilme özelliklerine bağlıdır.
- Sabit film reaktörler: Anaerobik filtreler ve anaerobik akışkan yataklı reaktörlerdir. Bu reaktörlerde, mikroorganizma yüzeyde koloni (biyofilm) halinde gelişirler. Ortam hem anaerobik filtredeki gibi sabit olabilir hem de döner disklerdeki ve akışkan yataklı reaktörlerdeki gibi hareketli olabilir.

Bu tez çalışmasında kullanılan çamur yataklı anaerobik filtre (hibrit) reaktör, askıda büyüme sistemi olan yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik (YAÇY) reaktör ile bir bağlı büyüme sistemi olan anaerobik filtrelerin (AF) kombinasyonu olan bir sistemdir. YAÇY ve AF reaktörlerinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan bu tip

reaktörler ile bu iki reaktörün avantajlarını bir arada elde etmek mümkün olurken aynı zamanda bu tür reaktörlerin dezavantajları minimuma indirgenmektedir.

2.2.3 Anaerobik hibrit reaktör

Anaerobik filtreler endüstriyel atıksuları verimli bir şekilde arıtmak için biyolojik arıtma teknolojisi olarak günümüze kadar kullanım alanı bulmuştur. Anaerobik filtreler atıksuyun reaktör içindeki akım yönüne göre yukarı akışlı anaerobik filtreler ve aşağı akışlı sabit yataklı reaktörler olmak üzere iki ana grupta incelenmektedir. Hibrit reaktör yukarı akışlı anaerobik filtrenin bir modifikasyonudur ve bir süspanse büyüme sistemi olan yukarı akışlı çamur yataklı anaerobik reaktör (YAÇY) ile bağlı büyüme sistemi olan anaerobik filtrelerin (AF) bir kombinasyonu olan sistemlerdir. Anaerobik filtrelerde reaktörün içindeki biyomas, paket malzemesi üzerine ince bir biofilm tabakası şeklinde bağlanır. Atıksuyun içindeki çözünebilir organik bileşikler biyomasla temas ederek geçer ve bağlı veya granül halde bulunan katıların yüzeyine difüze olarak ara ürün ve son ürünlere (özellikle metan ve karbondioksit) dönüşürler.

YAÇY ve AF reaktörlerinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan reaktörler ile hem bu iki tip reaktörün avantajları bir arada elde edilirken hem de bu reaktörlerin kullanım dezavantajlarını minimuma indirgenmektedir (Kimata vd., 1993 ; Guiot ve van den Berg, 1985). Hibrit reaktörlerin avantaj ve dezavantajları aşağıda özetlenmiştir (Filibeli vd, 2000).

Hibrit reaktörlerin avantajları

- YAÇY ve AF reaktörlerinin bir arada kullanılması verimi artırmaktadır.
- Düşük hidrolik alıkonma sürelerinde ve yüksek organik madde yükleme değerlerinde yüksek KOİ verimi elde edilebilmektedir.
- Hibrit reaktörlerde konsantre atıksuların arıtımı mümkündür.
- Diğer anaerobik reaktörlere göre daha kısa start-up süresi gerektirir.
- İşletimi kolaydır.

Hibrit reaktörlerin dezavantajları

- Gazın hepsi paket malzemesinden geçtiği için ve türbülans yarattığı için daha az biyokütle tutulmasına neden olur
- Kullanılan paket malzemesi ilk yatırım maliyetini artırmaktadır.

2.2.4 Anaerobik artıma uygulamaları

Peyniraltısuyunun anaerobik hibrit reaktörler ile arıtma çalışmaları literatürde pek sık rastlanmamaktadır. Ancak literatürde yapılan çalışmalarda yüksek KOİ değerlikli atıksular çalışılmıştır.

Ergüder vd., (2001) yılındaki çalışmalarında granüler çamur ile aşılınmış tek ve iki kademeli YAÇY reaktörü kullanarak peyniraltı suyunun anaerobik olarak arıtılabilirliğini ve metan üretim potansiyelini araştırmışlardır. Ayrıca besin ve iz elementi ilavesinin arıtıma olan etkileri incelenmiştir. Giriş KOİ konsantrasyonunun, hidrolik bekleme süresinin ve organik yükleme hızının sistem verimi üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Buna göre KOİ konsantrasyonunun 42.7-55.1 g/l olduğu giriş şartlarında (peyniraltı suyu pH'ı 3.92), hidrolik bekleme süreleri 2-3 gün tutularak % 95-97 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır. Bununla birlikte % 72-82 oranında metan içeren biyogaz elde edilmiştir (424 ml CH₄/gKOİ). Ulaşılan bir başka ilgi çekici nokta ise seyreltilmemiş peyniraltı suyunun kısa hidrolik bekleme sürelerinde önemli herhangi bir kararsızlık problemi oluşmaksızın anaerobik olarak arıtılabilmesidir. Ayrıca besin ve iz elementi katılmasının peyniraltı suyu arıtımı için çok önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Francisco vd., (2003) endüstriyel ölçekli anaerobik filtre reaktör ve ardışık kesikli reaktörün, mandıra atıksularının arıtımında arıtma performansını iki yıl süre ile izlemişlerdir. Çalışmada, reaktörün performansı, 101 gün süren başlangıç, organik yükün kademeli olarak arttırılması ile 348. güne kadar süren kararlı hal ve organik yükün azaltılarak tekrar kararlı hale ulaşmasını kapsayan toplam 634 gün boyunca takip edilmiştir. Anaerobik reaktör öncesinde yağ giderimi için hiçbir ön arıtma uygulaması yapılmadığı vurgulanmış ve organik yükün arttırılması ile (5.9 g KOİ/l.gün) % 93 KOİ verimleri elde edildiğini, atıksu bileşimindeki yağın kolaylıkla parçalandığı ve biyokütlenin yüzerek reaktörden uzaklaşmadığı bildirmişlerdir. İki yıl süresince sistemden atık olarak uzaklaştırılan çamurun ise sadece 2-3 kg UAKM/gün olduğu bildirilmiştir.

Yukarı akışlı anaerobik çamur yatağı reaktörleri (UASB) ile mandıra atıksularının arıtımı incelenmiştir (Nadias vd., 2005). 40-60 g KOİ/l.gün değerleriyle, peynir altı suları (PAS) yüksek organik madde içerirler. Bu atıksular 1-5 g/l gibi düşük askıda katı madde ve yüksek ayrılabilirlikte karbonhidratlara sahiptirler. Yüksek organik

içerikten dolayı, anaerobik çürütme gerekli olan bir arıtma sistemidir. Bu çalışmanın amacı, mandıra atıksuları arıtımında UASB reaktörü ile çalışmaktır. 10 L hacminde bir UASB reaktörü glikoz eklenen çürütücülerle ve mandıra atıksuları ile doldurulmuştur. Çözünmüş KOİ, pH, biyogaz üretimi ve bileşenleri izlenerek çürütücünün, atıksuyu farklı organik yükleme hızlarında çalıştırma verimi ve performansı incelenmiştir. Çalıştırma yükü 6.2 g KOİ/l.gün olarak bulunmuş ve 7.5 g KOİ/l.gün'e kadar arttırılabilmıştır. 42 g KOİ/l gün'den büyük değerler için UASB'nin çalışma verimi konusunda soru işaretleri oluşmaktadır.

Gannoun ve ark., (2008), peynir altı sularının yukarı akışlı anaerobik filtre (YAAF) ile arıtılabilirliğini çalışmışlardır. Atıksuya, anaerobik reaktöre beslenmeden önce tıkanmaları önlemek için bir ön arıtma işlemi uygulamışlardır. YAAF ile % 80-90 aralığında KOİ verimlerinin olduğu, yalnız 20 g/l gibi yüksek bir KOİ konsantrasyonu için (Organik Hacimsel Yük, OHY=4 g KOİ/lgün) KOİ verimlerinin % 72'ye kadar düştüğü bildirilmiştir. Uygulanan bu yüksek organik yükleme durumu ise, uçucu yağ asiti konsantrasyonunda artış ve metan üretiminin azalması ile sonuçlandığı bildirilmiştir.

Timur ve Öztürk (1997), yüksek oranda organik madde içeren (TOK=5000 mg/l, KOİ=19000 mg/l) sızıntı suyunun, laboratuvar ölçekli olarak 35 °C'de 1 litre hacmindeki anaerobik ardışık kesikli reaktörde ve 2.75 litre hacmindeki anaerobik hibrit yataklı filtrede anaerobik arıtımını incelemişlerdir. Anaerobik ardışık kesikli reaktör, 1.5 günlük hidrolik bekletme süresi ve 2.8 kg TOK/ m³.gün organik yükleme oranında % 73.9'luk TOK giderimi sağlanmıştır. Aynı sürede, 0.561 kg TOK/kg UAKM.gün'lük maksimum özgül yükleme oranında elde edilen TOK giderme verimi % 65.2'dir. Ortalama metan dönüşüm oranı, 0.742 m³ CH₄/kg giderile TOK, maksimum inorganik yükleme sonucunda elde edilen maksimum metan üretim oranı ise 1.79 CH₄/m³.gün'dür. Anaerobik hibrit yataklı filtre ise 2.4 günlük hidrolik bekleme süresi ve 1.08 kg TOK/m³.gün organik yüklemede % 74.7'lik TOK giderimi sağlanmıştır. Maksimum organik yüklemede (3 kg TOK/ m³.gün) TOK giderme verimi % 39.6'dır. Sonuçlar, başlıca hidrolik bekletme süresi ve giriş TOK konsantrasyonunun, anaerobik ardışık kesikli reaktörün ve anaerobik hibrit yataklı filtrenin performanslarını etkilediğini göstermiştir. İki reaktör karşılaştırıldığında, anaerobik ardışık kesikli reaktörün daha iyi arıtma performansına sahip olduğu belirlenmiştir.

Büyükcamacı ve Filibeli (2001), çalışmalarında hibrit reaktörde melas, üre ve K_2PO_4 kullanarak yüksek KOİ içeren, besin madde değeri 100/5/1 (C/N/P) olan sentetik atıksuyun arıtımını incelemişlerdir. 0.5 gün, 1 gün, 2 günlük hidrolik bekleme sürelerinde ve 1-10 kg KOİ/m³.gün organik yükleme hızları ile reaktördeki arıtma verimleri incelenmiştir. Çalışma süresince en az % 77, en fazla da % 90 arıtım verimi elde edilmiştir. Yüksek konsantrasyondaki (15000 mg/l) sentetik atıksuyunun 2 günlük hidrolik bekleme süresinde başarılı bir şekilde arıtılabilirliği vurgulanmıştır. Çalışma süresince toplam biyogazdan ölçülen metan gazı miktarı % 58'dir. Organik yükleme hızının artmasıyla ve hidrolik bekleme süresinin azalmasıyla toplam biyogaz üretiminin arttığı görülmüştür.

Gupta vd., (2007) tarafından yapılan çalışmada içki fabrikasından çıkan yıkama atıksuların, YAÇY reaktör ve hibrit reaktörlerdeki anaerobik arıtma verimleri incelenerek karşılaştırılmıştır. Literatürde 90000 mg/l KOİ konsantrasyonuna sahip (Gupta vd., 2007) bu atıksular, 5 günlük hidrolik bekleme süresi ve 8,7 kg KOİ/m³.gün organik yükleme hızıyla çalışılmıştır. Burada ki KOİ giderim verimleri YAÇY'de % 74.77 iken hibrit reaktörde % 79.02 olarak ölçülmüştür. Hidrolik bekleme süresinin arttırılmasıyla, metanojenler için sülfid inhibisyonu ile sonuçlanarak reaktör performansını azaltmıştır. Yüksek konsantrasyonlarda organik bileşiklerin biyolojik olarak giderilebilirliği, yıkama atıksuyundaki konsantrasyonlarındaki artış ile göstermiştir. Reaktörlerden gelen yıkama çamurları ile yapılan çalışmada hibrit reaktör ile YAÇY çamur yıkama oranları arasında % 25 azalma saptanmıştır.

Sızıntı sularının anaerobik hibrit reaktörde ve buna seri bağlı aerobik reaktörde arıtımını inceleyen Ağdağ ve Karahan, (2009) önce sızıntı sularının karakteristiği üzerinde çalışmış sonra da sızıntı sularının arıtma verimlerini incelemişlerdir. Çalışma süresi boyunca, 2 günlük HBS ile 0.98-7.38 kg KOİ/m³.gün ve 1 günlük HBS ile 1.97-14.75 kg KOİ/m³.gün OYH değerlerinde KOİ giderim verimleri incelenmiştir. Hibrit reaktörde en fazla % 91 mertebesinde KOİ giderimi gerçekleştirilmiştir. Geriye kalan KOİ'nin % 96'sı da aerobik reaktörde giderilmiştir. Aerobik reaktörde NH₄-N giderimi oldukça yüksektir. Çalışma sonucunda sızıntı sularının laboratuvar ölçekli anaerobik hibrit reaktör ve seri bağlı aerobik tank reaktörde arıtılabilirliğinin yüksek olduğu görülmüştür. Çalışma 170 gün sürmüştür.

Liu vd., (2010) polivinil alkol içeren tekstil son çıkış suyu olan haşıl atıksuları biyolojik gidilebilirliği düşük olduğu için çevre zarar vermektedir. Bu atıksuları arıtmak için geliştirilmiş anaerobik hibrit reaktörde başlangıç periyodu incelenmiştir. Atıksuyun içerisindeki alkol nedeniyle reaktörün yatışkın duruma gelme süresi uzun olmuştur. Başlama periyodunda, yapılan aşı çamuru ilavesi ve geri devir ile % 17.2 oranında polivinil alkol giderimi oluşmuştur. pH 7.4-8.0 aralığında ve 700-920 mg/l alkalinite değerinde anaerobik hibrit reaktörde granülleşme gözlenmiştir. Yatışkın suruma gelen reaktör 7 hidrolik bekleme süreleri ile çalıştırılmış ve reaktördeki granülleşme de izlenmiştir.

Anaerobik hibrit reaktörlerin kahve işleme atıksularının arıtımındaki anaerobik askıda ve bağlı büyüme sistemlerin avantajlarını belirtmek amacıyla Selvamurugan vd., (2010) tarafından bir çalışma yapılmıştır. 19.5 l olarak imal edilen hibrit reaktör 24 saatlik bekleme süresi ile işletmeye alınmıştır. Start-up periyodundan itibaren reaktör 24 saat, 18 saat, 12 saat ve 6 saatlik hidrolik bekleme süreleri ile çalışılmıştır. 18 saatlik bekleme süresinde, 9.55 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükleme hızında BOİ, KOİ ve askıda katı madde sırasıyla % 61, 68 ve 58 oranlarında azalma görülmüştür.

2.3 Aerobik Arıtma

Aktif çamur prosesi, askıda büyüyen sistem olarak atık suyun biyolojik arıtımında en sık kullanılan prosestir. 1914 yılında Arden ve Lockett (1914) tarafından İngiltere' de geliştirilen proses, bir atığın aerobik olarak stabilizasyonunu gerçekleştirebilen aktif kütle üretiminin meydana gelmesi sebebiyle aktif çamur olarak adlandırılmıştır.

Aktif çamur sistemi aerobik biyolojik aktif ürünlerin (mikroorganizma) atıksu ile havalandırılarak karıştırıldığı ve oluşan flokların ayrı bir yerde çökeltildiği sürekli bir sistemdir. Bu sistemde üretilen biyolojik çamurun bir kısmı aşı çamuru olarak geri dönüştürülüp sürekli gelen atıksu ile karıştırılır. Aktif çamur sisteminde mikroorganizmalar atıksuda ki organik maddeleri çözümlenip oksidasyon-sentez işlemi ile organik maddeleri CO₂, H₂O, NO₃ ve SO₄ gibi son ürünlere dönüştürmektedir.

Hajiabadi vd., (2009) çamur bekleme süresinin yüksek sentetik atıksuların arıtımındaki etkilerini aerobik ardışık kesikli reaktörde incelemiştir. Bu çalışma süresince 4 adet aynı özelliklere sahip aerobik reaktörlerde farklı çamur bekleme süreleri ile yüksek değerlikli sentetik süt atıksuyu ile beslenmiştir. Reaktörler 3.5 gün

HBS ve 1.4 kg KOİ/m³.gün OYH ile çalıştırılmıştır. Çamur bekleme süreleri sırasıyla 5, 10, 15 ve 20 gün reaktörlerde sırasıyla 108, 97, 91 and 84 mg/l KOİ değerleri ölçülmüş ve KOİ verimleri % 94.,99, 95,43, 95,86 ve 96,16 olarak ölçülmüştür. Çamur bekleme süresi sudaki biyokütle konsantrasyonunu da yükseltmiştir. Çamur bekleme süresi 20 gün olan reaktörde en iyi çıkış KOİ, bulanıklık ve biyokütle değerlerine ulaşılmaktadır.

Azo boya, asetik asit, glikoz vs. içeren sahte tekstil atıksuyunun arıtımında Anaerobik/aerobik reaktör (Işık ve Sponza, 2008) kullanılmıştır. Hidrolik bekleme süresinin renk, KOİ ve toplam aromatik aminlerin giderim verimleri üzerindeki etkilerini belirlemek için yatışkın durum ve başlama zamanlarında hidrolik bekleme süreleri 46 ile 186 gün arasında değiştirildi. Anaerobik/aerobik reaktörde HBS 19,17 gün ve 1,2 gün alınarak elde edilen sonuçlarda, KOİ ve renk giderim verimleri sırasıyla % 97-91 ve % 91-84 olarak elde edilmiştir. Toplam 8,85 gün ve 6,05 gün HBS ile çalışılması sonucunda ardışık aerobik tank da toplam aromatik aminlerin arıtımı başarılı bir şekilde % 70-85 iken renk giderimi hafif oranda artış göstermiştir. Hidrolik bekleme sürelerindeki artışlar anaerobik/aerobik reaktörlerde kısmi KOİ mineralizasyonu için yeterli zaman sağlamaktadır.

Gürtekin (2008)'de yaptığı bir çalışma ise, bir ardışık kesikli reaktör ve başka bir ardışık kesikli reaktöre zeolit ilavesiyle arıtım verimlerini incelemişlerdir. Kısa (2 gün) hidrolik bekleme süresinde çalıştırılan reaktörlerin KOİ, BOİ ve NH⁺₄-N giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Zeolit ilavesi yapılan ardışık reaktörde ortalama KOİ ve BOİ giderimi % 96 iken NH⁺₄-N giderimi % 90 olmaktadır. Zeolit ilavesi yapılmayan ardışık reaktörde ise ortalama KOİ ve BOİ giderimi % 90 iken NH⁺₄-N giderimi % 68 olmaktadır. Zeolit ilavesi yapılan ardışık reaktörde çamur aktivitesi artmış ve çamur çökeltme özellikleri de daha da iyileşmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1 Peyniraltı Atıksuyu Numune Alınması ve Karakterizasyonu:

Anaerobik hibrit reaktörün beslenmesi ve deneysel çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için gereken peyniraltı atıksuyu numunesi Denizli'deki bir entegre süt ve süt ürünleri firmasından temin edilmiştir. Alınan peyniraltı atıksuyu numuneleri buzdolabında saklanmıştır. Entegre süt ve süt ürünleri tesisinden alınan numuneler KOİ, hidrolik bekleme süresi ve organik yükleme hızlarına göre

anaerobik hibrit reaktöre besleme yapılmıştır. Alınan numunelerde Tablo 3.1’de belirtilen parametreler ölçülmüştür.

Tablo 3.1 Peyniraltı atıksuyu numunelerinin kirlilik değerleri

Parametre	Literatür	Ölçülen değer (Süt Entegre Tesisi)
KOİ (g/l)	60-70	60.336
BOİ (g/l)	20-40	23
AKM (mg/L)	250 -1200	500
TN (mg/l)	897-1200	920
VFA (mg/l)	-	640
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	58-150	75
P-PO ₄ ³⁻ (mg/l)	336-434	410
pH	4.5-5.0	5.19

Tablo 3.1’den de görüldüğü üzere numune alınan süt ve süt ürünleri entegre tesisindeki peyniraltı atıksuyunun kirlilik konsantrasyonları literatürle büyük oranda paralellik arz etmektedir. Alınan numunelerde ölçülen değerler içerisinde sadece pH değeri literatüre göre biraz yüksektir. KOİ değeri de alt sınırdadır. Tablo 3.1’de verilen değerler numune alınan zamanlarda ölçülen değerlerin ortalamasıdır.

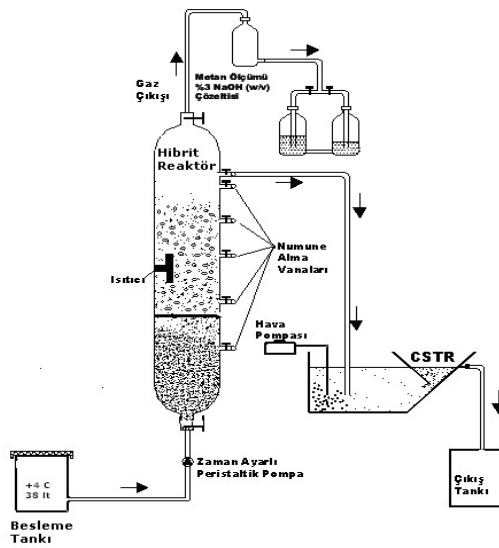
3.2 Reaktör Sistemleri

Tez çalışması kapsamında peyniraltı atıksuyunun arıtılması için yapılmış olan anaerobik hibrit reaktör ve buna seri bağlı olan aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktör aşağıdaki şekil 3.1’de gösterilmektedir. Şekil 3.2’de ise anaerobik hibrit reaktör/sürekli karıştırılmalı tank reaktörün akım şemasının şematik gösterimi bulunmaktadır. Anaerobik hibrit reaktör ve aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktör uzun yıllar kullanılabilmesi ve içeriği ile reaksiyon vermemesi sebebiyle paslanmaz çelik malzemeden yaptırılmıştır. Hibrit reaktör, alt kısmı YAÇY reaktör üst kısmı ise anaerobik filtre şeklinde dizayn edilmiştir. Toplam reaktör hacmi 17.7 litre, filtre

bölgesi hacmi 11.8 litre, çamur yatak bölgesi hacmi 5.9 litredir. Anaerobik filtre kısmı kesilmiş hortumlar ile doldurularak tutunarak büyüme etki çapının yükseltgenmesi amaçlanmıştır. Hortumlar yaklaşık 2 cm uzunluğunda kesilmiştir. Kesilmiş hortumların üzerinde yivler bulunmaktadır. Böylelikle filtre bölgesinde mikroorganizmaların tutunabilmesi için yaklaşık $185 \text{ m}^2/\text{m}^3$ özgül yüzey alanı elde edilmiştir. Büyükkamacı ve Filibeli (2002) tarafından konsantre atıksuların arıtılmasında kullanılan hibrit reaktörde ise bu değer $225 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'tür. Aerobik reaktör olarak ise sürekli karıştırılmalı tank reaktör (SKTR) kullanılmıştır. Aynı aerobik reaktör içerisinde ayrı bir çamur çökme ünitesi bulunmaktadır.



Şekil 3.1 Anaerobik hibrit ve aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktör.



Şekil 3.2 Anaerobik hibrit reaktör ve aerobik SKTR reaktör çalışma şeması

3.2.1 Start-up periyodu

Reaktör yaptırıldıktan sonra İzmir PAKMAYA Anaerobik Atıksu Arıtma Tesisi'nden getirilen anaerobik aşı çamuru ile reaktör aşılınmış ve işletmeye alınmıştır. Başlangıç olarak reaktör 3000 mg/l KOİ değerinde glikozla beslenmeye başlanmıştır. Reaktörün glikozla beslendiği ilk dönemlerde metan gazı oluşumu gözlenememiştir. Bunun nedeni anaerobik mikroorganizmaların aklimasyon (alışma) döneminde olmasıdır. Daha sonraki dönemlerde anaerobik reaktörden yine yüksek KOİ giderim verimi gözlenmediğinden dolayı anaerobik reaktöre mikrobiyal zenginleştirici Bio-oneTM ilavesi yapılmıştır. İlerleyen dönemlerde reaktör aynı KOİ ile beslemeye devam edilmiş ve oluşan metan miktarında yavaş yavaş artışlar görülmüştür. Metan miktarının düşük olmasına paralel olarak reaktördeki KOİ giderme verimi de düşüktür. Start-up periyodunun sonunda anaerobik hibrit reaktörde % 42 metan yüzdesi gözlenmiş ve KOİ giderme verimi % 64 olarak ölçülmüştür. Bu veriler anaerobik hibrit reaktörün steady-state (yatışkın durum) koşullarına geldiğini, anaerobik mikroorganizmaların aklimasyonunun tamamlandığını göstermiştir. Bu evreden sonra sistem tamamen peyniraltı suyuyla sırasıyla 3000, 5000, 8000, 12000, 16000, 20000, 30000 mg/l KOİ konsantrasyonlarında beslenilerek arıtma verimleri incelenmiştir. Aerobik sürekli karıştırmalı tank reaktör Denizli Belediyesi Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi havalandırma havuzundan çamur alınarak aşılınmıştır.

3.2.2 Anaerobik hibrit reaktör ve aerobik sürekli karıştırmalı tank reaktör çalışma koşulları

Anaerobik hibrit reaktöre peyniraltı suyunun beslemesi 38 litrelik bidondan reaktöre gerekli seyreltmeler yapılarak verilmiştir. Bidona peyniraltı su ilavesinden sonra mikroorganizmaların mineral ortamı için Vanderbilt mineral ortamı kullanılmış olup bileşimi tablo 3.2'de verilmektedir. Gerekli olması durumunda alkaliniteyi sağlamak amacıyla besiyerine sodyum bikarbonat (NaHCO₃) ilavesi yapılmıştır.

Tablo 3.2 Vanderbilt mineral ortamı (Speece, 1996)

Bileşik	Derişim (mg/l)	Bileşik	Derişim (mg/l)
NH ₄ Cl	400	MnCl ₂ .4H ₂ O	0.5
MgSO ₄ .7H ₂ O	400	CuCl ₂	0.5
KCl	400	ZnCl ₂	0.5
Na ₂ S.9H ₂ O	300	NH ₄ VO ₃	0.5
(NH ₄) ₂ HPO ₄	80	NaMoO ₄ .2H ₂ O	0.5
CaCl ₂ .2H ₂ O	50	H ₃ BO ₃	0.5
FeCl ₂ .4H ₂ O	40	NiCl ₂ .6H ₂ O	0.5
CoCl ₂ .6H ₂ O	10	NaWO ₄ .2H ₂ O	0.5
KI	10	Na ₂ SeO ₃	0.5
(NaPO ₃) ₆	10	Sod. tiyoglik.	3.6
Sistein	10	NaHCO ₃	6000
AlCl ₃ .6H ₂ O	0.5		

Anaerobik hibrit reaktör besleme şekli KOİ konsantrasyonlarının yükseltilmesi, dolayısıyla organik yükleme hızının (OYH) yükseltilmesi şeklinde yapılmaktadır. Tablo 3.3’de uygulanan işletme koşulları görülmektedir.

Tablo 3.3 Anaerobik hibrit reaktör giriş KOİ ve OYH değerleri

Çalışma periyotları	Besleme KOİ değeri (mg/l)	OYH (kg KOİ/m ³ .gün)
1	3000	0.64
2	5000	1.07
3	5000	1.58
4	8000	2.53
5	12000	3.79
6	16000	3.45
7	20000	4.29
8	30000	6.44

Değişen organik yükleme hızı değişimleri ile çalışma periyotları seçilmiştir. Çalışmanın 1 ve 2. periyodunda hidrolik bekleme süresi 4.4 gün seçilmiştir. KOİ giderme veriminin artmasıyla hidrolik bekleme süresi 2, 3, 4, 5 ve 6. periyotlarda aşağıya çekilmiş ve 3.2 güne düşürülmüştür. Ardından reaktör daha yüksek KOİ konsantrasyonlarıyla beslendiğinde KOİ giderme veriminin ve CH₄ miktarının düşmesi nedeniyle hidrolik bekleme süresi tekrar 4,4 güne yükseltilmiştir. Tablo 3.4'de çalışma periyotlarına göre anaerobik hibrit reaktördeki hidrolik bekleme süreleri görülmektedir.

Tablo 3.4 Anaerobik hibrit reaktör hidrolik bekleme süresi

Çalışma periyotları	HBS miktarı (gün)
1-2	4.4
3-4-5-6	3.2
7-8	4.4

Anaerobik hibrit reaktör çıkışı aerobik sürekli karıştırmalı tank reaktörün girişi olmaktadır. Reaktör hacimleri farklı olduğundan anaerobik reaktör ile aerobik reaktörün organik yükleme hızları ve hidrolik bekleme süreleri de farklıdır. Tablo 3.5'de aerobik reaktörün çalışma periyotlarındaki ortalama OYH değerleri, tablo 3.6'da da hidrolik bekleme süreleri verilmektedir.

Tablo 3.5 Aerobik tam karıştırmalı tank reaktör OYH değerleri

Çalışma Periyodu	OYH miktarı (kg KOİ/m ³ .gün)
1	0.2
2	0.24
3	0.34
4	0.41
5	1.46
6	1.63
7	1.67
8	2.96

Tablo 3.6 Aerobik tam karıştırılmalı tank reaktör HBS değerleri

Çalışma Periyodu	HBS (gün)
1-2	2.6
3-4-5-6	1.78
7-8	2.6

Anaerobik reaktörde giderilmeyen organik madde aerobik reaktörde giderilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca ortamda giderilemeyen $\text{NH}_4\text{-N}$ 'ü aerobik ortamda $\text{NO}_3\text{-N}$ azotuna dönüştürülmektedir.

3.3 Analiz Yöntemleri

3.3.1 KOİ ölçümü

Çözünmüş KOİ, kolorimetrik olarak Reflux metotla ölçülmüştür (APHA AWWA, 1992). Örnekler 7000 rpm'de 10 dakika santrifüjlendikten sonra örneklere gerekli seyreltmeler yapılmıştır. Seyreltilmiş örneklerden 2.5 ml hacimde su numunesi alınmıştır. 2.5 ml örneklere 33.3 g/l civasülfat (HgSO_4)'lı 10216 mg/l potasyumdikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)'tan 1.5 ml ve % 0.55 (w/w) gümüş sülfat (Ag_2SO_4) içeren 18 M H_2SO_4 'den 3.5 ml eklenir. Kapalı örnek tüpleri 148°C ' da ısıtıcıda 2 saat bekletilmiştir. 2 saat sonunda tüpler ısıtıcıdan alınıp soğutulduktan sonra 600 nm'de WTW photoLab S12 spektrofotometrede absorbans ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.3, 3.4)



Şekil 3.3 WTW CR2200 ısıtıcı



Şekil 3.4 WTW photoLab S12 spektrofotometre

3.3.2 Gaz ölçümleri

Gaz ölçümleri sıvı yer değiştirme metodu ile yapılmıştır. Metan gazı, %3 NaOH içeren sıvıdan geçirilerek karbondioksite biyogazdan ayrılmasıyla elde edilir (Razo-Flores vd., 1997). Metan gazı yüzdesi, Dräger Pac[®]Ex metan ölçer ile ölçülmüştür.



Şekil 3.5 Toplam gaz miktarının ölçüldüğü düzenek ve Dräger[®]Ex cihazı

3.3.3 İnert KOİ analizi

İnert KOİ ölçümleri sıvı yer değiştirme metodu ile yapılmıştır. Saf su(kör), glikoz çözeltisi ve PAS çözeltisi KOİ konsantrasyonları aynı olacak şekilde içerisinde vanderbilt mineral ortam çözeltisi, sodyum bikarbonat ve anaerobik çamur ilave edilerek 37 °C ortam sıcaklığı bulunan anaerobik inkübatöre konulmuştur. Belirli zaman aralıklarında düzeneği kurulmuş olan düzenekte yer değiştiren sıvı miktarı not edilerek hesaplanmıştır.

3.3.4 Alkalinite ve UYA analizi

Bikarbonat alkalinitesi ve uçucu yağ asit konsantrasyon ölçümleri Anderson & Young (1992) titrimetrik metodu ile yapılır. Örneklerin toplam alkalinitesi pH = 4.3'e kadar 0.01 N standart sülfürik asit çözeltisi titrasyonu ile elde edilir. Öncelikle örneklerin pH'ları ölçülür, örnekler standart asit çözeltisi ile önce pH = 5.1'e, daha sonra pH =5.1'den pH = 3.5'e kadar titre edilerek, uçucu yağ asidi ve bikarbonat alkalinitesi hesaplanır.

3.3.5 Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) analizi

BOİ₅, WTW Oxi Top IS sistem kullanılarak ölçülmüştür.

3.3.6 Amonyum azotu (NH₄-N)

14752 no'lu spektroquant kitlerle fotometrede ölçülmüştür. Alınan numunelerde gerekli seyreltmeler yapıldıktan sonra numuneler santrifüjlenir. Kitlerde prosedüre uygun işlemler yapıldıktan sonra fotometrede konsantrasyon mg/l cinsinden okunur.

3.3.7 Toplam azot (TN)

14537 no'lu spektroquant kitlerle fotometrede ölçülmüştür. Alınan numunelerde gerekli seyreltmeler yapıldıktan sonra numuneler santrifüjlenir. Kitlerde prosedüre uygun işlemler yapıldıktan sonra fotometrede konsantrasyon mg/l cinsinden okunur.

3.3.8 Toplam fosfat (TP) analizi

14543 no'lu spektroquant kitlerle fotometrede ölçülmüştür. Alınan numunelerde gerekli seyreltmeler yapıldıktan sonra numuneler santrifüjlenir. Kitlerde prosedüre uygun işlemler yapıldıktan sonra fotometrede konsantrasyon mg/l cinsinden okunur.

3.3.9 pH

Peyniraltı atıksuyunun pH değeri HANNA HI 221 model pH metre kullanılarak ölçülmüştür.

3.3.10 Anaerobik toksisite analizi (ATA)

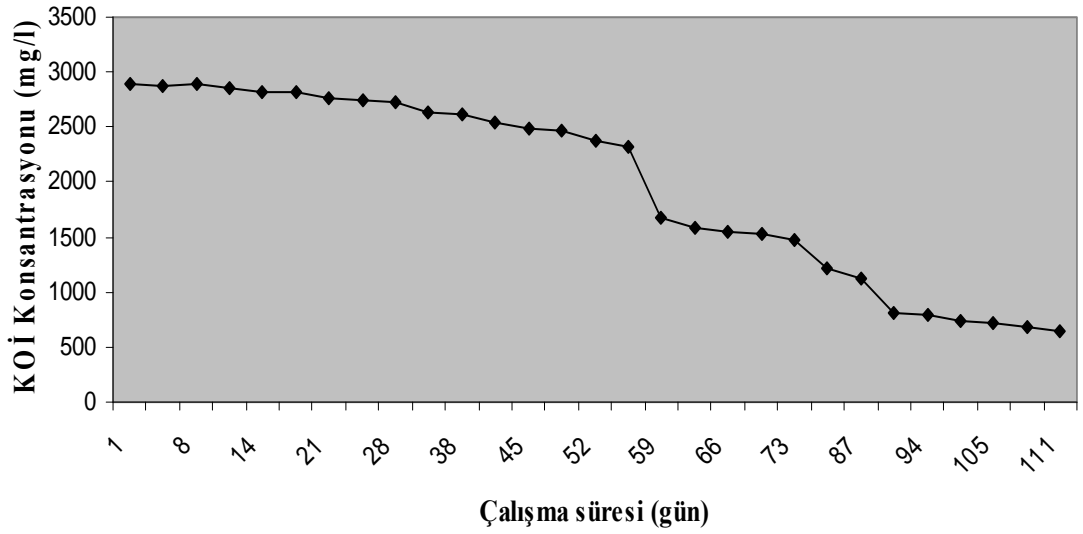
ATA testi 115 ml'lik serum şişeleriyle 37⁰C'de yapılır (Owen vd.,1979 ve Donlon vd., 1995). Serum şişeleri uygun Vanderbilt mineral ortamının, 3000mg/l glikoz KOİ' yi verecek stok çözeltilerle doldurulur. 667 mg/l sodyumthioglycollate (NaT) anaerobik indirgenme koşullarının sağlanması, 5000 mg/l sodyum bikarbonat (NaHCO₃)da nötral pH'ın oluşturulması için ilave edilir. 4000 mg/l MLSS/l anaerobik mikroorganizma kaynağı için şişelere eklenir. Serum şişelerindeki glikoz KOİ değeri 3000 mg/l olduğunda serum şişelerinde kısıtlayıcı olmayan substrat koşulları sağlanmış olur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Anaerobik Hibrit Reaktör Arıtım Sonuçları

4.1.1 Anaerobik hibrit reaktörde KOİ giderimi

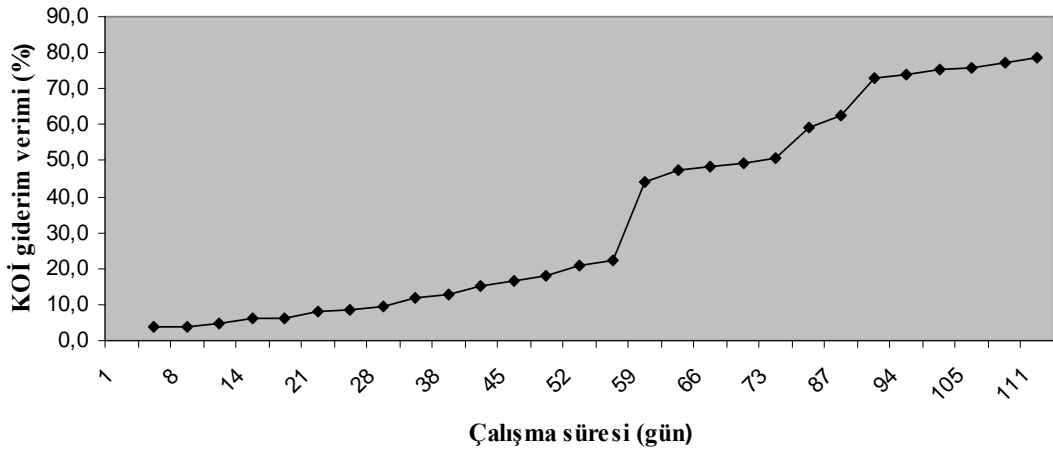
Yukarıda da ifade edildiği üzere sistem yatışkın duruma gelinceye kadar anaerobik hibrit reaktör glikoz ve belli oranlarda peyniraltı atıksuyu karıştırılarak beslenmiştir. Yatışkın durum koşullarına gelinceye kadar olan ölçülen çıkış KOİ konsantrasyonları şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1 Start-up fazında anaerobik hibrit reaktör KOİ çıkış değerleri

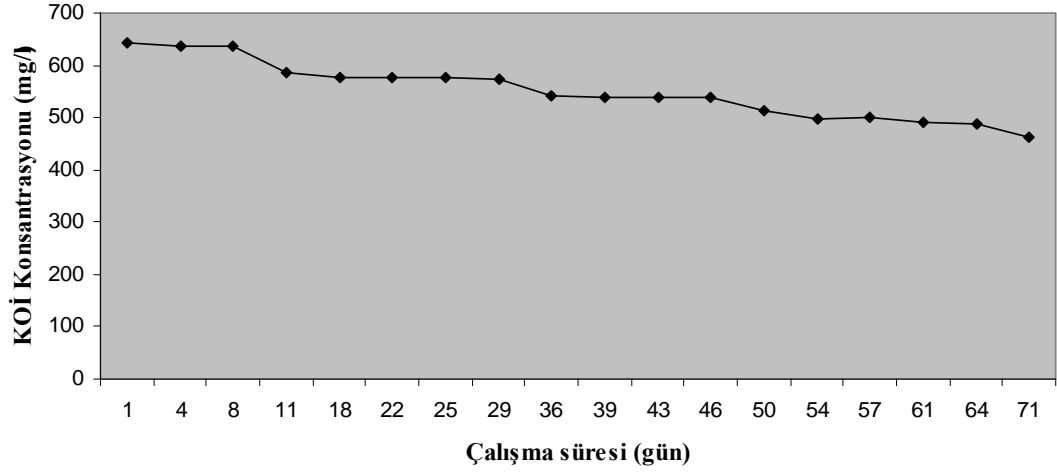
Çalışmada başlangıç KOİ değeri olarak 3000 mg/l glikoz KOİ’si ile beslenmeye başlanmıştır. Start-up fazının başlangıcında anaerobik hibrit reaktörde KOİ giderimi çok yavaş gerçekleşmektedir. Şekil 4.1’den de görüleceği üzere, ilk 60 günlük süre zarfında çıkış KOİ değeri 3000 mg/l’den ancak 2500 mg/l değerine düşürülebilmektedir. Şekil 4.2’de start-up periyodunda anaerobik hibrit reaktördeki KOİ giderme verimleri gösterilmektedir. Şekil 4.2’den de görüleceği üzere ilk 60 günlük periyotta KOİ giderme verimi ancak % 20 değerlerine ulaşmıştır. Reaktördeki düşük arıtma veriminden dolayı sisteme mikrobiyal zenginleştirici olan Bio-one™ (anaerobik *clostridium pasteurianum* ve aerobik *azotobacter vinelandii* içeren sıvı gübre) ilavesi yapılmıştır. Bu ilaveden sonra anaerobik hibrit reaktör çıkış suyu KOİ konsantrasyonları hızla düşmeye başlamıştır. Start-up periyodunun yaklaşık 95. gününde KOİ konsantrasyonu 1000 mg/l değerine düşmüştür. KOİ giderme verimi bu dönemde % 60’lara ulaşmıştır. Ardından anaerobik hibrit reaktör glikoza ilave

olarak peyniraltı suyu ile de beslenmeye başlanmıştır. Glikoz KOİ'si ile peyniraltı suyu KOİ'si oranı 1:1'dir. Peyniraltı suyu ilavesi ile anaerobik hibrit reaktör çıkış KOİ konsantrasyonu yaklaşık 800 mg/l değerine düşmüş, KOİ giderme verimi de yaklaşık % 78 değerine ulaşmıştır. Metan gazı yüzdesinin de yüksek olması nedeniyle reaktörün yatışkın duruma ulaştığına karar verilerek reaktör tamamen peyniraltı suyu ile beslenmeye başlanmıştır. Start-up periyodu 111 günde tamamlanmıştır.



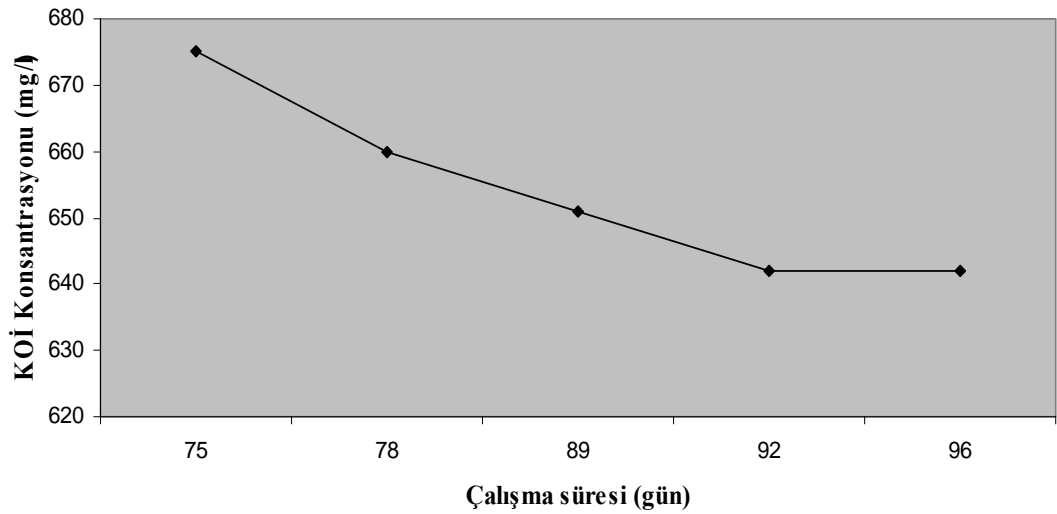
Şekil 4.2 Start-up fazında anaerobik hibrit reaktör KOİ giderim verimi

Sadece peyniraltı atıksuyu ile anaerobik hibrit reaktör beslenmeye başlandığında 3000 mg/l (0.64 kg KOİ/m³.gün OYH) yükleme değerinde çalışılmıştır. Çalışmanın bu periyodu yaklaşık 75 gün sürmüştür. 0.64 kg KOİ/m³.gün OHY'nda ve 4.4 gün HBS'inde anaerobik hibrit reaktör çıkış suyu KOİ konsantrasyonları şekil 4.3'de gösterilmektedir. Şekil 4.3'de gösterilen çıkış konsantrasyonları haftalık elde edilen ortalamalardır. Bu çalışma periyodunun anaerobik hibrit reaktör çıkış KOİ konsantrasyonu 650 mg/l'dir. 0.64 kg KOİ/m³.gün OYH'nda ve 3000 mg/l KOİ besleme değerinde hibrit reaktör çıkış suyu KOİ değeri bu çalışma periyodu sonunda 500 mg/l'dir. Şekil 4.11'den görüldüğü üzere KOİ giderim verimi % 82 değerlerine ulaşmıştır.



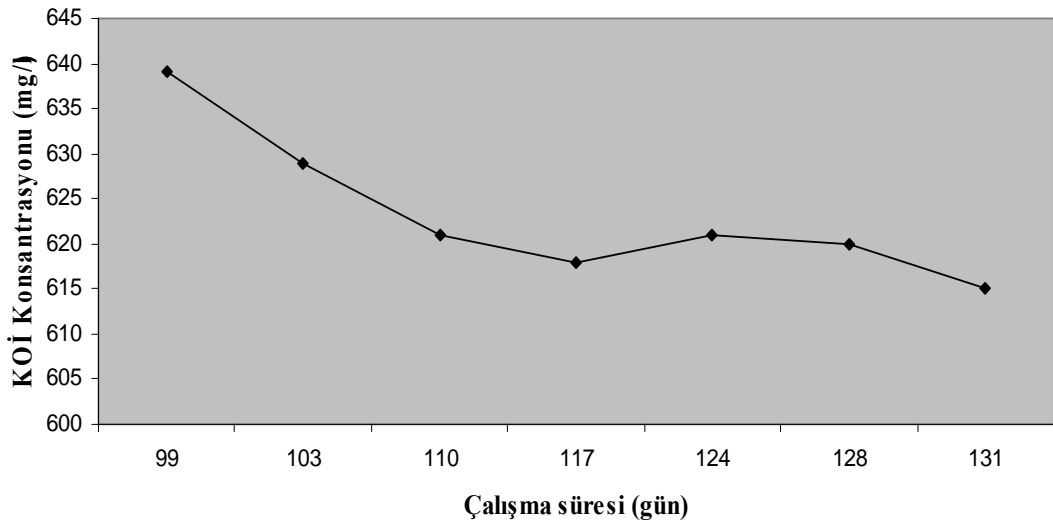
Şekil 4.3 0.64 kg KOİ/m³.gün OYH değeri için çıkış değerleri (3000 mg/l)

Bu çalışma periyodunda anaerobik hibrit reaktör giriş KOİ değeri 3000 mg/l'den 5000 mg/l'e çıkarılarak sistem peyniraltı suyu ile beslenmeye devam edilmiştir. Burada OYH artan KOİ konsantrasyonu nedeniyle 1.07 kg KOİ/m³.gün değerine çıkmıştır. Bu periyotta da anaerobik hibrit reaktör 4.4 günlük HBS ile işletilmiştir. Şekil 4.4'den de anlaşılacağı gibi 2. işletme periyodunda ilk KOİ çıkış suyu değeri 675 mg/l iken, bu periyodun sonunda çıkış suyu KOİ değeri 640 mg/l'ye düştüğü gözlenmiştir. Bu da anaerobik hibrit reaktörün artan organik yüklemeyeyle beraber anaerobik arıtımın gerçekleştiği gözlenmektedir. Bu periyot 21 günde tamamlanmıştır. Şekil 4.11'de bu OYH için anaerobik hibrit reaktörde okunan KOİ giderme verimi yaklaşık % 82 olarak ölçülmüştür.



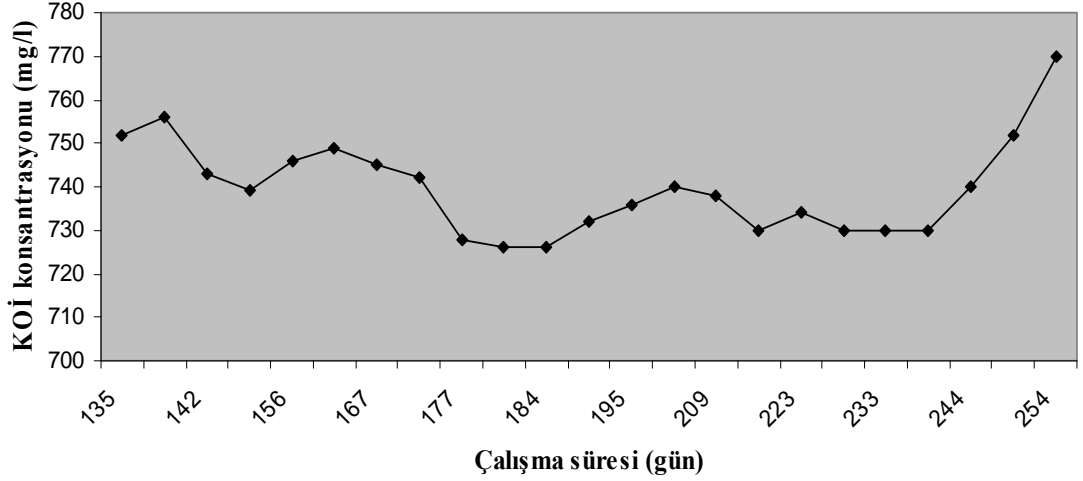
Şekil 4.4 1.07 kg KOİ/m³.gün OYH değeri için çıkış değerleri (5000 mg/l)

3. çalışma periyodunda anaerobik hibrit reaktör giriş KOİ konsantrasyonu 5000 mg/l sabit tutularak HBS 4.4 günden 3.2 güne düşürülmüştür. Buradaki amaç, farklı hidrolik bekleme sürelerinde arıtma verimine olan etkilerinin incelenmesidir. HBS'nin 3.2 güne düşürülmesi ile OYH 1.53 kg KOİ/m³.gün'e çıkarılmıştır. Anaerobik hibrit reaktörün 1.53 kg KOİ/m³.gün OHY ile beslenmesiyle hibrit reaktör çıkış değerleri biraz salınım göstermektedir. Şekil 4.5'den görüleceği gibi bu periyottaki çıkış KOİ değerleri 640 mg/l'den 615 mg/l'ye düşmüştür. Bu periyot için OYH miktarının artışı KOİ giderimi üzerinde büyük bir etki yaratmamıştır. Bu çalışma süresi 30 gün devam etmiştir ve elde edilen KOİ giderim verimi % 85'dir.



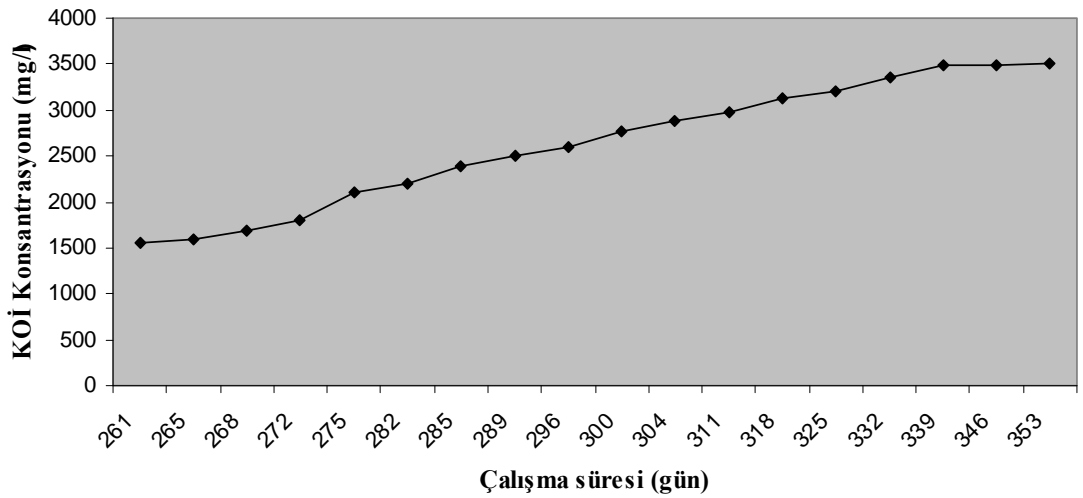
Şekil 4.5 1.53 kg KOİ/m³.gün OYH değeri için çıkış değerleri (5000 mg/l)

Şekil 4.6'da gösterilen çalışma periyodunda (4. periyot) anaerobik hibrit reaktör besleme KOİ değeri 5000 mg/l'den 8000 mg/l'ye çıkarılmıştır. HBS 3.2 gün tutularak OYH değeri 2.53 kg KOİ/m³.gün'e çıkmıştır. Şekil 4.6'da görüldüğü gibi anaerobik hibrit reaktör KOİ çıkış değerindeki salınımlar giderek artmıştır. Bu periyot 120 gün sürmüştür. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi çalışma süresince hibrit reaktördeki maksimum KOİ giderme verimi olan % 90 olarak ölçülmüştür.



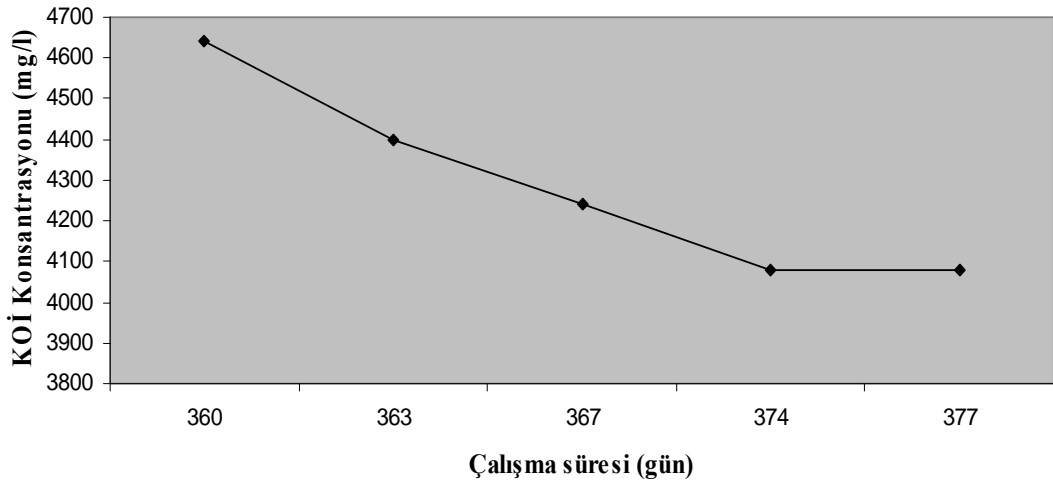
Şekil 4.6 2.53 kg KOİ/m³.gün OYH değeri için çıkış değerleri (8000 mg/l)

5. çalışma periyodunda anaerobik hibrit reaktördeki 8000 mg/l olan besleme suyu 12000 mg/l'ye çıkarılarak OYH 2.53 kg KOİ/m³.gün'den 3.79 kg KOİ/m³.gün'e çıkmıştır. Şekil 4.7'den de görüleceği gibi hibrit reaktörün ilk çıkış KOİ değeri 1500 mg/l iken çalışma periyodu sonunda çıkış KOİ değeri 3500 mg/l'ye çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni, reaktör içindeki anaerobik mikroorganizmaların yüksek OYH'de şok yüklemeye maruz kalmasıdır. Söz konusu durumda anaerobik çıkış konsantrasyonu artmış ve sonuçta hibrit reaktör KOİ giderme verimi % 70'e kadar düşmüştür. Bu çalışma periyodu 90 gün sürmüştür. Şekilden de görüleceği üzere son 15 gün KOİ giderim veriminde bir değişim gözlenmediği için sonraki periyoda geçilmiştir.



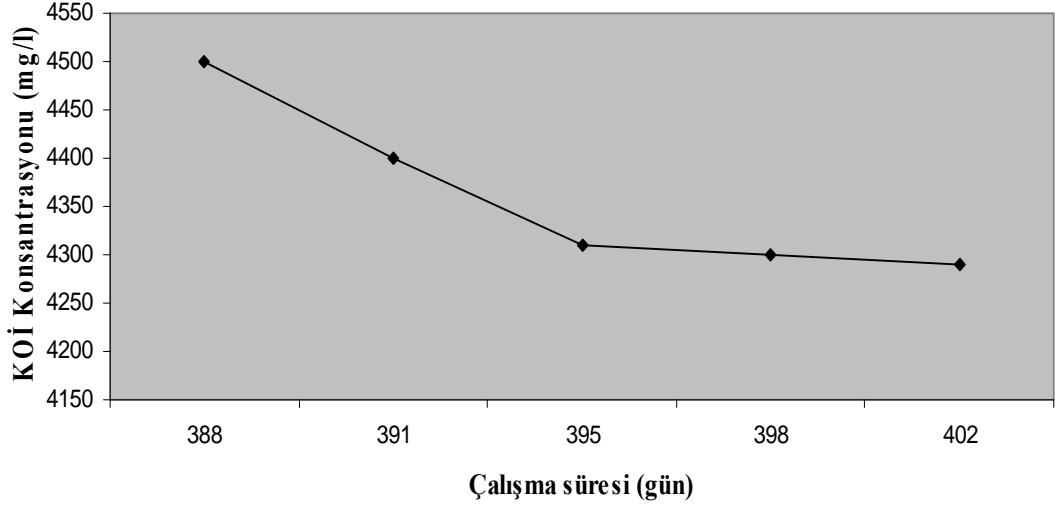
Şekil 4.7 3.79 kg KOİ/m³.gün OYH değeri için çıkış değerleri (12000 mg/l)

Bu çalışma periyodunda besleme KOİ konsantrasyonu 12000 mg/l'den 16000 mg/l'ye çıkarılırken HBS 3.2 günden 4.4 güne çıkarılmıştır. OYH 3.45 kg KOİ/m³.gün değerine düşmüştür. Bu sayede bir önceki periyotta inhibe olmuş mikroorganizmalar yeniden geliştirilmiştir. Bu durum şekil 4.8'deki anaerobik çıkış KOİ konsantrasyonunun düşüşünden anlaşılmaktadır. 17 gün süren bu periyotta çıkış KOİ konsantrasyonlarında azalma görülmesi KOİ giderim verimlerinin arttığına işaret etmektedir. KOİ giderim verimi önceki periyotta % 70'ken bu periyotta % 80'e yükselmiştir.



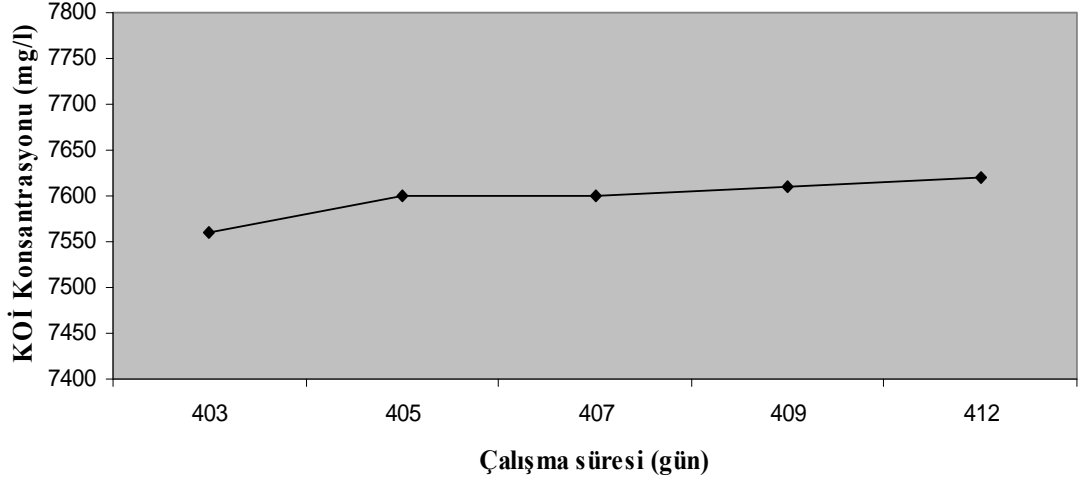
Şekil 4.8 3.45 kg KOİ/m³.gün OYH değeri için çıkış değerleri (16000 mg/l)

Şekil 4.9'da hibrit reaktörün OYH miktarı 4.29 kg KOİ/m³.gün'e çıkartılmış ve 4.4 gün HBS ile reaktör çalıştırılmaya devam edilmiştir. OYH'nın değişmesi anaerobik hibrit reaktöre olumsuz bir etki yapmamıştır. Aynı zamanda artan OYH ile anaerobik çıkış KOİ değerinde azalma devam etmektedir. Bu da hidrolik bekleme süresinin bu arıtma çalışmasında iyi sonuçlar edildiğini göstermektedir. 14 gün süren çalışma periyodunda şekil 4.11'de anaerobik KOİ giderim verimi % 80 ölçülmüştür.



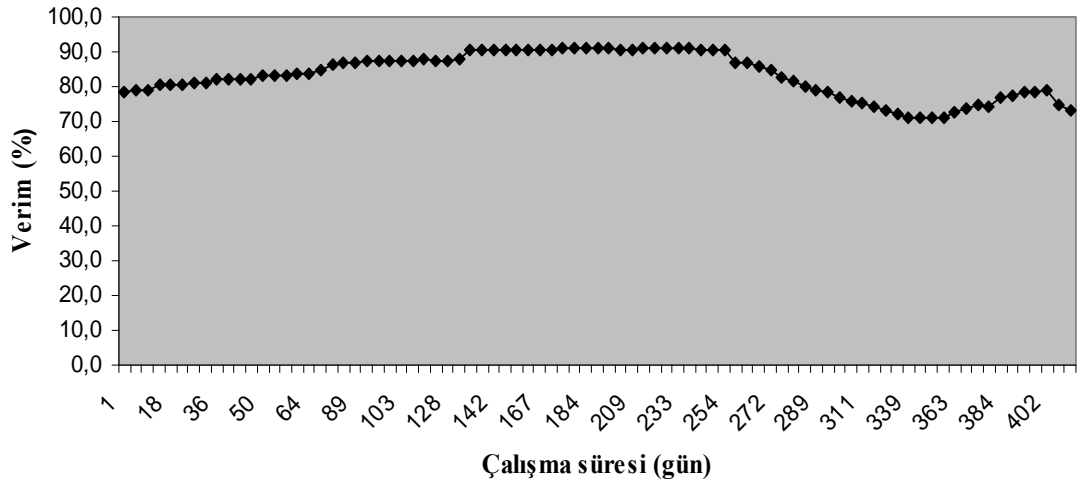
Şekil 4.9 4.29 kg KOİ/m³.gün OYH değeri için çıkış değerleri (20000 mg/l)

Sistemde arıtımın devam etmesi üzerine anaerobik hibrit reaktör KOİ giriş değeri 30000 mg/l olarak ayarlanmış ve 6.44 kg KOİ/m³.gün OYH ile reaktöre peyniraltı atıksuyu ile beslenilmeye devam edilmiştir. Bu periyotta şekil 4.10'dan da görüleceği üzere 9 günlük yapılan ölçümlerde çıkış KOİ değerlerinin yakınlık gösterdiği görülmektedir. Bu periyot boyunca elde edilen KOİ giderim verimleri de şekil 4.11'de yaklaşık % 78 olduğu görülmektedir. Elde edilen değerler sonucunda 6.44 kg KOİ/m³.gün OYH ve 4.4 gün HBS reaktörün karalı hale geldiği, bu değerden yüksek OYH'lerde anaerobik hibrit reaktör içindeki mikroorganizmaların inhibe olabileceği ve böylece reaktör çıkış KOİ değeri artarak KOİ giderim verimini olumsuz yönde etkileyeceği görülmektedir. Fakat peyniraltı atıksuyunun havasız filtre reaktörün 6 kg KOİ/m³.gün OYH ve 4 gün HBS ile yapılan laboratuvar ölçekli çalışmalarında % 78-92 (Viraraghavan ve Kikkeri,1990; Viraraghavan ve Kikkeri, 1991a), pilot ölçekli çalışmalarında ise % 85 oranında KOİ giderim verimi sağlanmıştır (İnce, 1998a). Bu çalışma da aldığı verimler bakımından bizim çalışmamıza yakınlık göstermektedir. Aynı zamanda yapılan bir çalışmada yukarı akışlı havasız filtre reaktör, 21 kg KOİ/ m³.gün organik yükleme seviyesine kadar çalıştırılmış, ve süt endüstrisi atık suyunda ortalama olarak % 80 civarında KOİ gideri sağlanmıştır (İnce vd., 2000).



Şekil 4.10 6.44 kg KOİ/m³.gün OYH değeri için çıkış değerleri (30000 mg/l)

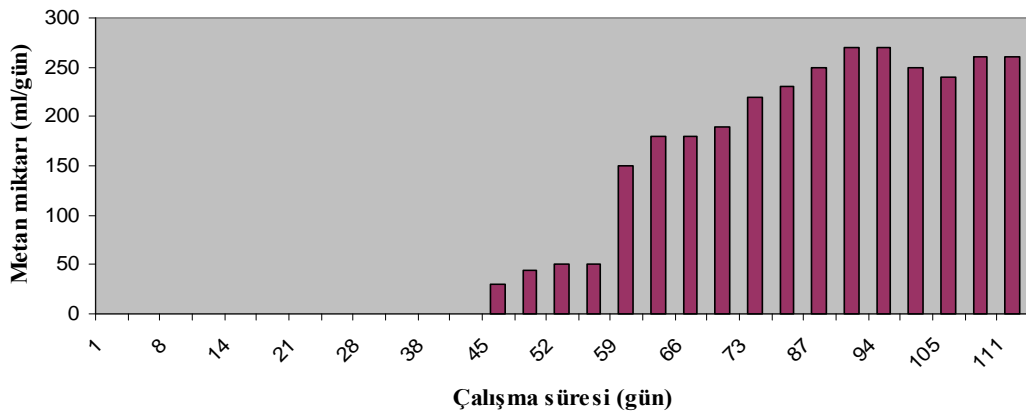
Bu tez çalışması boyunca hibrit reaktör KOİ giderim verimleri şekil 4.11’de gösterilmektedir. Elde edilen değerlerin değişik OYH ve HBS değerlerinde çalışıldığı yukarıdaki anlatımlarda yer almaktadır. Reaktör çıkış KOİ giderim verimi en yüksek 3.2 gün HBS ve 2.53 kg KOİ/m³.gün OYH ile % 90 olarak görülmüş ve en düşük çıkış KOİ giderim verimi 3.2 gün HBS ve 3.79 kg KOİ/m³.gün OYH ile % 70 olarak elde edilmiştir. Frigon vd., (2009) bir kapalı reaktörde peyniraltu atıksuyunun hem anaerobik hem de aerobik adımlarla arıtımını çalışmaları sonucu % 88±3 verimlerini elde etmişlerdir.



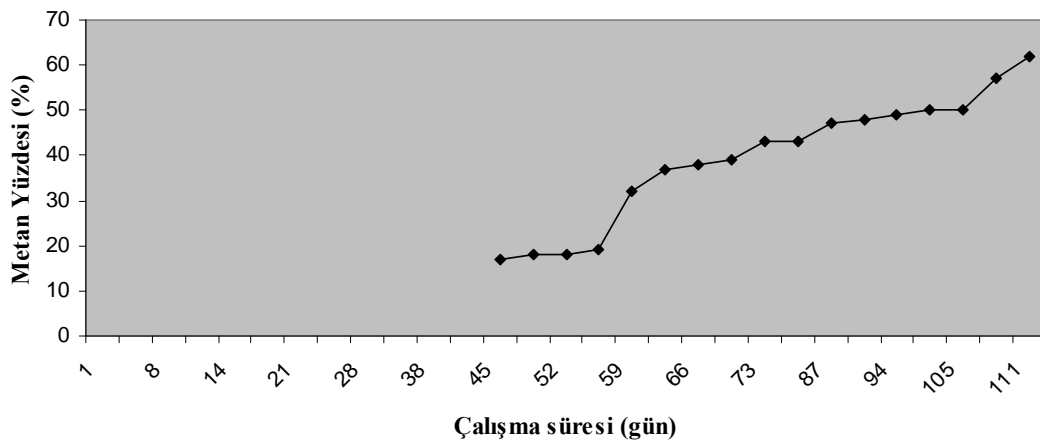
Şekil 4.11 Anaerobik hibrit reaktör KOİ giderme verimleri.

4.1.2 Anaerobik hibrit reaktörde metan gazı oluşumu

Anaerobik hibrit reaktör işletmeye alındıktan sonra şekil 4.1 ve 4.2'den görüleceği gibi ilk 45 gün anaerobik reaktör sistemi KOİ giderimi ve KOİ giderme verimi görülmemiştir. Reaktörde anaerobik parçalanma olmadığı için ortamda gaz oluşmamıştır. Daha sonra hibrit reaktöre düşük arıtma veriminden dolayı sisteme mikrobiyal zenginleştirici olan Bio-one™ (anaerobik *clostridium pasteurianum* ve aerobik *azotobacter vineliandii* içeren sıvı gübre) ilavesi yapılmıştır. Sisteme ilavesinden sonra oluşan gaz miktarında bir artış olmuştur. Bu da hibrit reaktörün anaerobik arıtmaya başladığının ve sonucunda ortamdan gaz çıkmaya başladığını göstermektedir. Şekil 4.12'de yatışkın durum oluşan gaz miktarları verilmektedir. Oluşan gaz miktarları sıvı yer değiştirme metodu ile ölçülmüştür. Oluşan gazın içerdiği % metan oranında dräger cihazıyla ölçülmüş ve şekil 4.13'de gösterilmektedir.

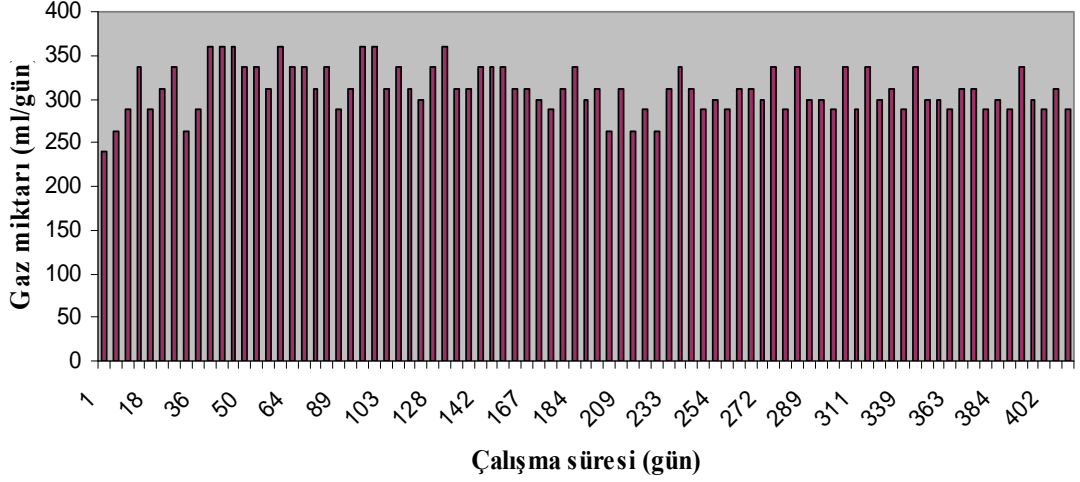


Şekil 4.12 Yatışkın durum hibrit reaktör oluşan gaz miktarı



Şekil 4.13 Yatışkın durum metan yüzdeleri

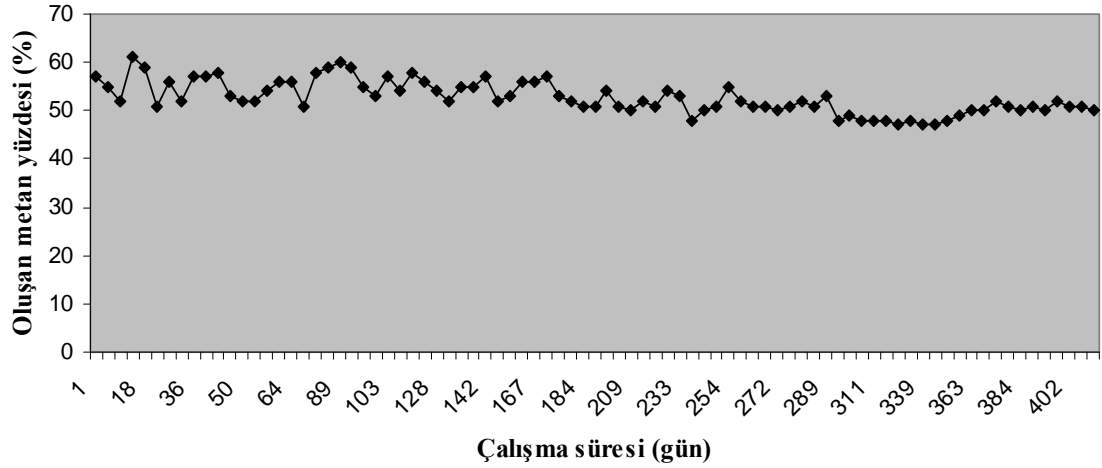
Yatışkın hale gelen anaerobik reaktör, 0.64-6.44 kg KOİ/m³.gün OYH ve 3.2-4.4 gün HBS'lerle işletme alınmış ölçülen gaz miktarları şekil 4.14'de gösterilmektedir. Tez çalışması boyunca sistemde üretilen toplam gaz miktarı 26 l'dir. Günlük oluşan gaz miktarı ise 0.71 ml/gün'dür.



Şekil 4.14 Anaerobik hibrit reaktör oluşun gaz miktarı

Çalışma boyunca ölçülen en yüksek metan yüzdesi % 63 olarak 2.53 kg KOİ/m³.gün OYH'da okunmuştur. 5. periyottan itibaren metan yüzdesi % 50-54 değerlerine düşmüştür. Bunun nedeni, reaktörün yüksek KOİ ve OYH değerlerinde beslenmesi ve artıma veriminin düşmesidir. Zaten bu periyotta anaerobik hibrit reaktör çıkış suyu KOİ değerleri de yükselmiş ve KOİ giderme verimi düşmüştür. Bu durum, yüksek organik hızının anaerobik hibrit reaktörü olumsuz etkilemesi ve organik maddenin metana dönüşüm hızının düşmesi ile açıklanabilir. Bu olumsuzluğun önüne geçmek için HBS çıkarılmıştır. Bunun için besleme debisi aşağıya çekilmiştir.

Anaerobik hibrit reaktörde günlük metan miktarının ölçülmesinin yanısıra reaktördeki metan yüzdesi de dräger cihazı kullanılarak ölçülmüştür.



Şekil 4.15 Anaerobik hibrit reaktör metan yüzde değerleri

Aşağıdaki tablo 4.1’de çalışma periyodu boyunca anaerobik hibrit reaktördeki her OYH’daki ortalama metan yüzdeleri gösterilmektedir.

Tablo 4.1 Farklı OYH’ndaki ortalama metan yüzdeleri

Çalışma periyotları	OYH (kg KOİ/m ³ .gün)	Metan yüzdesi (%)
1	0.64	52.1
2	1.07	55.0
3	1.58	56.2
4	2.53	58
5	3.79	53
6	3.45	55.4
7	4.29	56.3
8	6.44	55.9

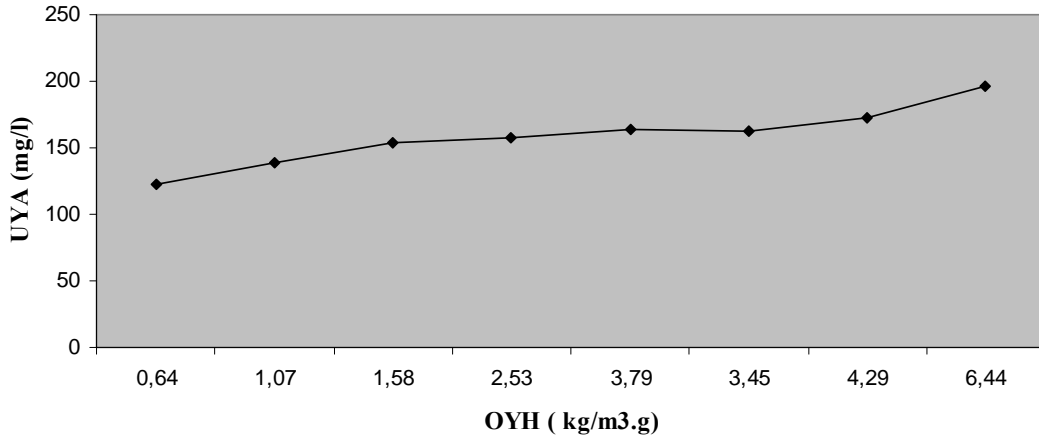
Antonopoulou vd., (2008) yaptığı çalışmada peyniraltısuyununun 20 gün, 10 gün, 4,4 gün bekleme sürelerinde ki verimler incelenmiş, en fazla KOİ giderimi ve en yüksek metan üretim potansiyeli 4,4 günlük bekleme sürelerinde tespit edilmiştir. Patel ve Madamvar (1997), sabit film yapılı anaerobik dönen biokontakt reaktörde yaptıkları çalışmada 3 günlük hidrolik bekleme süresinde çalışma boyunca maksimum % 74 oranında metan üretim potansiyeli ve % 85 oranında KOİ giderimi olmuştur. Saddoud vd., (2007) yaptığı çalışmada asidojenik reaktör ve metanojenik reaktörün

birlikte kullanılmasıyla peyniraltı sularındaki metan üretimi üzerine çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlarda % 70'den daha yüksek elde edilmiştir.

Ağdağ ve Karahan (2009) sızıntı suları ile yaptıkları çalışmada, hibrit reaktörde elde edilen sonuçlarda 1 günlük Hidrolik bekleme süresinde % 59 metan yüzdesi okunmuştur. Artan organik yüklemeye değerlerinde metan değerinin % 62-64 değerlerine çıktığı gözlenmiştir. Gülşen ve Turan (2003), sızıntı suyu ile yaptığı çalışmada ise yükselen organik yüklemeye hızlarında metan üretiminin arttığı gözlenmiştir. Aynı zamanda Antonopoulou vd. (2008) yaptığı çalışmada ise iki kademeli anaerobik rürekli karıştırmalı anaerobik reaktörde peyniraltısuyunun metan üretim potansiyeli üzerinde durulmuştur. Yukarıdaki çalışmalardan da görüleceği gibi peyniraltı atıksularından elde edilen değerler literatürdeki metan oluşturma yüzdeleri bakımından farklılık göstermemektedir.

4.1.3 UYA, pH ve alkalinite sonuçları

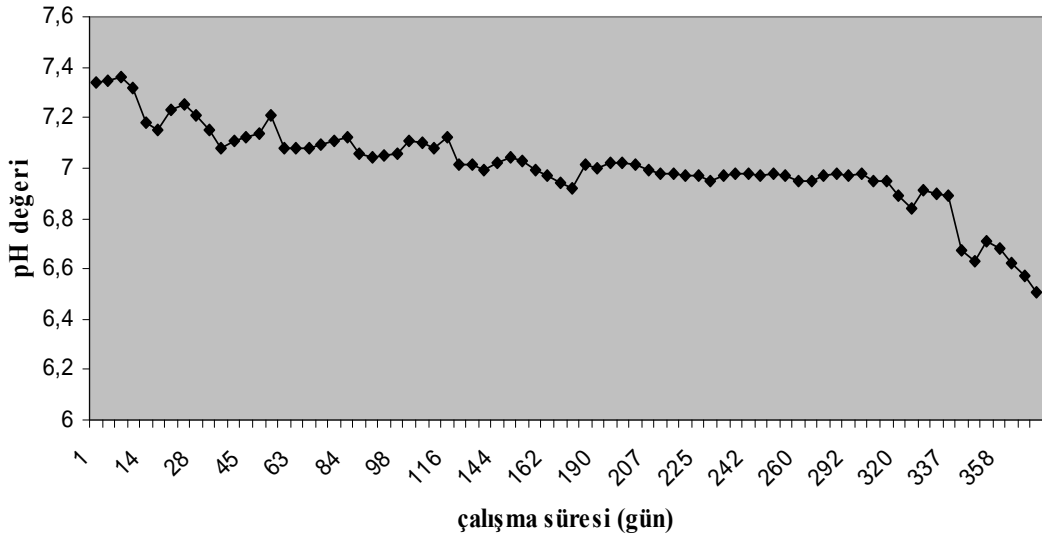
Uçucu yağ asidi (UYA), pH ve alkalinite değerleri anaerobik hibrit reaktörde her bir Organik yüklemeler boyunca haftada 2 kez ölçülmüştür. Organik yüklemeye hızındaki elde edilen UYA şekil 4.15'de gösterilmektedir.



Şekil 4.16 Hibrit reaktörde OYH'YE göre UYA değişimleri

Şekil 4.16'den de görüleceği üzere UYA konsantrasyonları OYH'nın artışına paralel olarak artış göstermiştir. Hibrit reaktöre besleme yapmak için besiyerine yapılan NaHCO₃ ilavesi ile pH değeri 7.59'dan büyük olduğu için sistemde UYA ölçülememiştir. Daha sonraki dönemlerde NaHCO₃ ilavesi kesilmiş ve pH değerleri 7,59'dan küçülerek reaktörde UYA ve alkalinite değerleri ölçümleri yapılmıştır. Anaerobik arıtma koşullarında sistem alkalinitesinin 1000-4000 mg/l arasında

olmalıdır (Speece, 1996) ve bizim çalışmamızda da alkalinite bu değerler arasında tutulmaktadır. UYA için ise, literatürde 1000-1500 mg/l değerleri arasında olması istenmekte (Speece, 1996), bizim çalışmamızda bu değerler çok az aşılmaktadır. Ama yüksek KOİ konsantrasyonlarda besleme yapmak için pH değeri yüksek olan peyniraltı suyu besiyerine daha çok ilave edilmiştir. Bu da sistem giriş ve çıkış su pH değerlerini düşürmüş ve alkaliniteyi azaltıcı etki yapmıştır. Büyükkamacı ve Filibeli, (2004) hibrit reaktörde uçucu yağ asitlerinin formasyonları üzerine araştırma yapmışlardır. Bu amaçla hibrit reaktör 10 kg KOİ/m³.gün (10000 mg/l KOİ, 1 gün HBS) ve 7.6 KOİ/m³.gün (15000 mg/l KOİ, 2 gün HBS) şartlarında çalıştırılmıştır. Reaktör üst bölgelerinde ve çamur bölgesinde asetik asit konsantrasyonları sırasıyla 150 ve 354,9 mg/l değerlerinde ölçülmüştür. Şağıdaki şekilde ise ölçülen pH değerler bulunmaktadır.



Şekil 4.17 Anaerobik hibrit reaktör çıkış pH değerleri

4.1.4 İnert KOİ sonuçları

Peyniraltı atıksuyunda glikoz karşılaştırmalı metoda göre inert KOİ deneyleri yapılmıştır. Şurup şişelerinde 37 °C'deki inkübatörde yapılan deney sonuçlarında peyniraltı suyunun çalışma periyodu sonundaki kalıntı KOİ değeri glikozla yapılan sonuçlara çok yakındır. Bu da, peyniraltı atıksularının kolay biyolojik parçalanmaya uğradığını göstermektedir. Anaerobik ortamda peyniraltı atıksularının inert KOİ değeri başlangıç değerinin % 3-4'ü kadardır.

4.1.5 ATA sonuçları

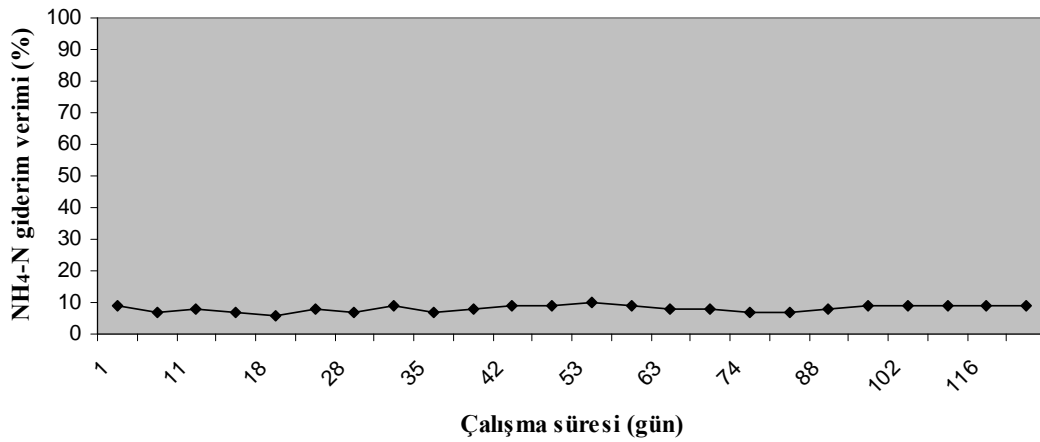
Peyniraltısuyunda anaerobik toksisite denemeleri, kullanılan peyniraltısuyunun anaerobik ortamda metan oluşumunu engelleyici veya geciktirici bir etkisi olup olmadığını belirleme amaçlı olarak yapılmıştır. Glikoz ile belirli yüzdelerde peyniraltısuyu konulan numuneler anaerobik ortamda tutulmuş ve metan gazı ölçülmüştür. Tablo 4.1 peyniraltısuyundaki ATA sonuçlarını göstermektedir. Tablodan görüleceği üzere peyniraltısuları metan miktarını artırmıştır. ATA deneyinin yapıldığı şurup şişelerindeki peyniraltı suyu miktarı arttıkça metan miktarında da artış gözlenmektedir. Peyniraltısuyunda anaerobik ortamda bir toksisiteye neden olmamaktadır. Ağdağ ve Sponza (2005) tarafından katı atıkların endüstriyel çamurlarla birlikte anaerobik arıtılması esnasında oluşan sızıntı sularında ATA testi yapılmış ve sadece ağır metal içeriği ve AOX değeri yüksek endüstriyel çamurların olduğu reaktörde anaerobik toksisiteye rastlanmıştır. Sadece sızıntı suları olan reaktörde ise metan miktarında glikoza göre artış meydana gelmiştir. Perez (1997) tarafından yapılan çalışmada da evsel katı atık depolama alanı sızıntı sularının anaerobik toksisiteye sebebiyet vermediği belirtilmektedir.

Tablo 4.2 Peyniraltı suyu ATA incelemesi metan miktarları

Numune	Okunan Metan Miktarları (ml/gün)			
	1. gün	2. gün	3. gün	6 saat sonra
Glikoz	27	18.2	5	9.8
Glikoz	25.6	19.2	4	7
%25 PAS	27	15	5.2	12
%25 PAS 2	28	14.2	4.8	10.
%50 PAS	33	18	6.4	10.2
%50 PAS 2	34	16.2	5.2	9
%75 PAS	39	16	9.4	12.8
%75 PAS 2	36.6	19	8.4	12
%100 PAS	46	21.2	10.4	13.2
%100 PAS 2	47.5	20	9.4	11.8

4.1.6 NH₄-N giderim sonuçları

Anaerobik hibrit reaktöre verilen Azot ve NH₄-N kaynağı peyniraltı atıksuyudur. Hibrit reaktöre değişik organik yükleme hızlarında reaktöre yüklenen NH₄-N konsantrasyonları 48-375 mg/l arasındadır. Ama yapılan deneyler sonucu giriş NH₄-N değerinden % 9-11 oranında azalma gözlenmektedir. Bu da anaerobik reaktördeki mikroorganizmaların kendileri için gerekli olan NH₄-N miktarı olarak açıklanmaktadır (Ağdağ ve Karahan, 2009). Şekil 4.18'de anaerobik reaktördeki NH₄-N giderim verimleri gösterilmektedir.



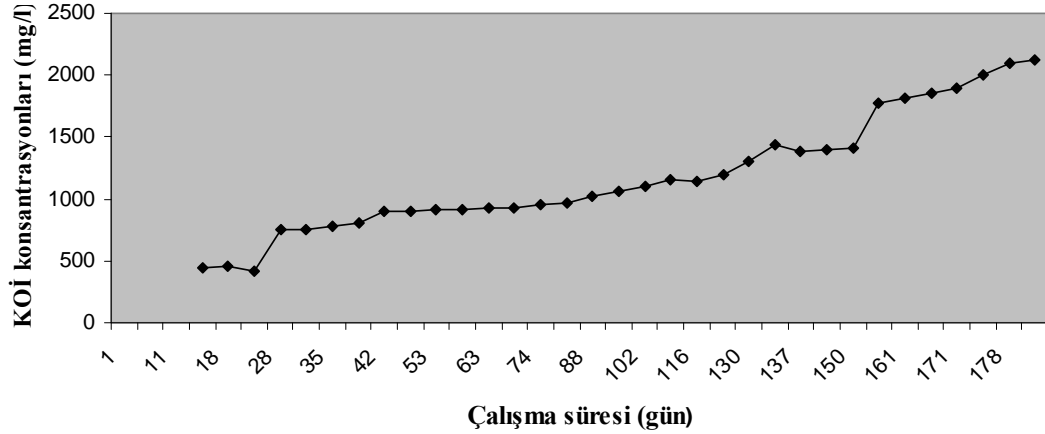
Şekil 4.18 Anaerobik hibrit reaktör NH₄-N giderim verimi

Şekil 4.18'de görüldüğü gibi anaerobik hibrit reaktöre giren NH₄-N'in yaklaşık % 90'ı biyolojik olarak giderilemeden aerobik tanka verilmektedir.

4.2 Aerobik Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktöründeki Arıtım Sonuçları

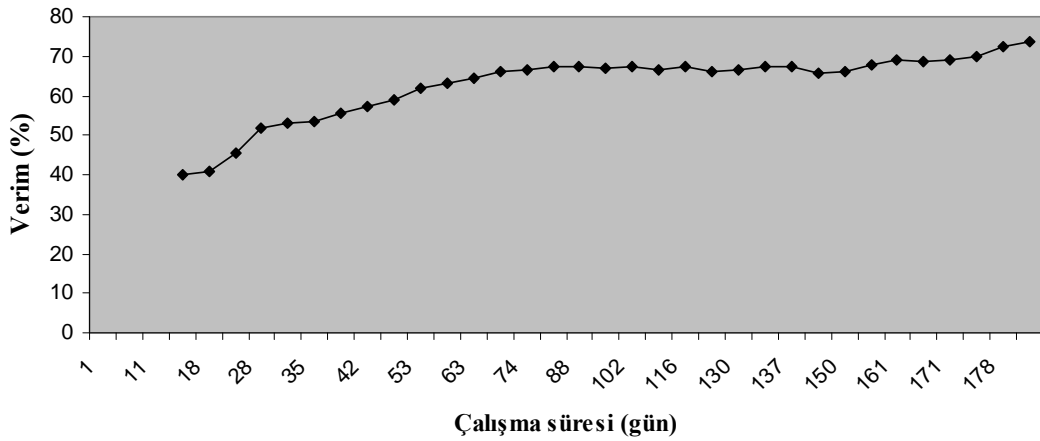
4.2.1 Aerobik SKT reaktördeki KOİ giderimi

Yukarıda da ifade edildiği üzere anaerobik hibrit reaktörün çıkışı, aerobik sürekli karıştırmalı tank reaktörün girişi olmaktadır. Aerobik reaktör başlangıç periyodun başlangıcından birkaç sonra devreye alınabilmektedir. Şekil 4.10'da çalışma boyunca elde edilen aerobik reaktör çıkış KOİ konsantrasyonları gösterilmektedir. Çalışma periyodunun başlangıcında aerobik reaktör çıkış KOİ konsantrasyonu 450 mg/l iken zamanla bu değer yükselmiştir. Bunun sebebi anaerobik hibrit reaktörün artan KOİ ve OYH değerleri ile beslenmesidir.



Şekil 4.19 Aerobik reaktör çıkış KOİ konsantrasyonları

Şekil 4.19’de aerobik reaktör KOİ giderme verimleri görülmektedir. Aerobik reaktörden alınan aşı çamurunda ipliksi bakterilerin bulunması problemiyle zaman zaman karşılaşıldığından dolayı reaktör yeniden aşılmalıdır. Bu durum reaktör verimine olumsuz etki yapmıştır. Çalışma süresince aerobik reaktörden sağlanan değerlerde değerlerde sistemin 3.2 gün HBS ile % 68 oranlarında arıtma verimine ulaşıldığı görülmektedir. 4.4 gün HBS ile beslenen 7. ve 8. periyotlarda anaerobik reaktör çıkış değerinin artmasıyla beraber aerobik tank reaktördeki çıkış değerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.18).



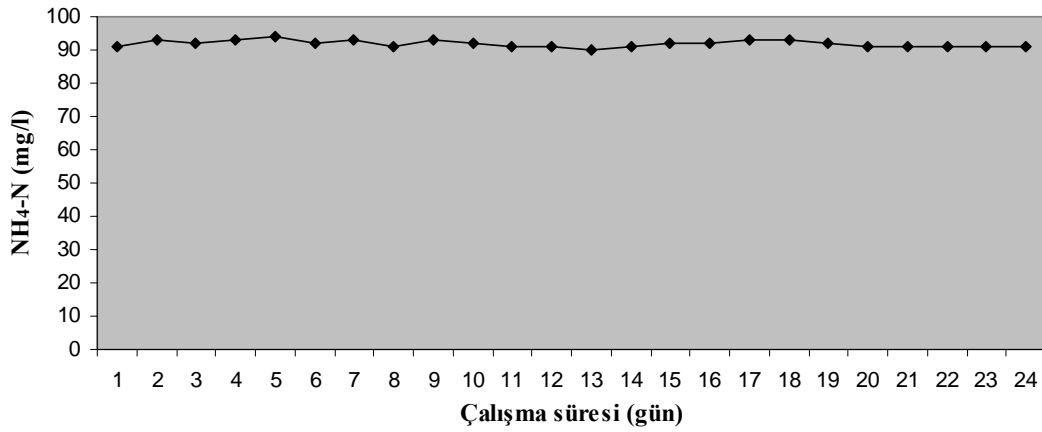
Şekil 4.20 Aerobik reaktör KOİ giderim verimi

Peyniraltı atıksuyunun anaerobik hibrit/aerobik sürekli karıştırmalı tank reaktörde anaerobik hibrit reaktör giriş KOİ değerinin % 90 oranında arıtma verimi sağlanmıştır. Işık ve Sponza (2008) tekstil atıksuyunu aynı bu birleşik anaerobik/aerobik sistem kullanarak yaptıkları arıtma çalışmalarında % 91-97

oranlarında arıtma verimi elde etmişlerdir. Hajiabadi vd., 2009'da yaptıkları çalışma da ise yüksek çamur bekleme sürelerinde aerobik arıtma verimine olumlu yönde etkisi olduğunu vurgulamışlardır.

4.2.2 Aerobik SKT reaktördeki amonyum azotu ve toplam azot giderimi

Aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktörde ki $\text{NH}_4\text{-N}$ kaynağı anaerobik hibrit reaktörden çıkan anaerobik çıkış suyudur. Anaerobik reaktörde sadece % 10 oranında $\text{NH}_4\text{-N}$ azalması gözlenmiştir. Çalışma periyotları süresince aerobik reaktöre gelen $\text{NH}_4\text{-N}$ miktarı 42-330 mg/l'dir. Aerobik reaktörler $\text{NH}_4\text{-N}$ giderimi için çok kullanılan arıtma sistemleridir ve bu arıtma sistemlerinde % 90-95 oranında verim elde edilmiştir.



Şekil 4.21 Aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktör $\text{NH}_4\text{-N}$ giderim verimi

5. SONUÇLAR

Yüksek KOİ konsantrasyonuna sahip atıksular anaerobik yöntemlerle arıtılmaktadırlar. Sızıntı suları, zeytin karasu ve peyniraltı atıksuları bu kapsama giren atıksulardır. Yüksek KOİ içeren bu atıksuların arıtılmasında en çok kullanılan anaerobik reaktörler yukarı akışlı çamur yatak reaktörlerdir. Literatürde yer alan çalışmalarda genelde bu tip reaktörlerde gerçekleştirilmiştir. Literatürde peyniraltı atıksuların farklı anaerobik reaktörlerde arıtılabilirliği ile ilgili çalışmalar bulunmasına rağmen hibrit reaktörlerde arıtılması ile ilgili çalışmalara pek rastlanmamaktadır.

Hibrit reaktörler yukarı akışlı çamur yatak reaktör ile ve anaerobik filtrenin birleşimiyle oluşturulmuş reaktörlerdir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında organik

kirliliğe sahip peyniraltı atıksularının anaerobik/aerobik yöntemle arıtılabilirliği, anaerobik hibrit/aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktörde incelenmiştir. Deneysel çalışmaların yapılması için paslanmaz çelikten reaktörler yaptırılmış ve uygun anaerobik/aerobik aşu çamurları ile aşılanarak işletmeye alınmıştır. Anaerobik hibrit reaktöre peyniraltı atıksuyu 0.64 – 6.44 OYH'lerinde yükleme yapılmış ve arıtma verim değerleri elde edilmiştir.

Bu çalışmada, en yüksek KOİ giderim verimi 3.2 gün hidrolik bekleme süresi ve 2.53 kg KOİ/m³.gün organik yükleme hızı ile % 90.9 oranında KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Artan organik yükemeler KOİ giderim verimi düşmektedir. 4.4 gün hidrolik bekleme süresi ve 6.44 kg KOİ/m³.gün organik yükleme hızı ile sistemde % 73.2 değeri elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda yüksek KOİ içeren peyniraltı atıksularının seri bağlı anaerobik hibrit/aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktörde arıtılabilirliği görülmektedir. Elde edilen metan miktarı, hibrit reaktörde anaerobik ortamda organik maddenin metan gazına dönüştüğünü ve arıtımın gerçekleştiğini göstermektedir. Yapılan inert KOİ denemeleri peyniraltı atıksuyun inert KOİ değerinin başlangıç KOİ değerinin yaklaşık % 2-3 civarında olduğunu göstermektedir. Zaten literatür bilgileri de peyniraltı atıksularının kolay ayrışabilir organik madde ihtiva ettiği şeklindedir. Buna ilaveten peyniraltı atıksularında yapılan denemelerde, bu atıksuların anaerobik toksisite (ATA) içermediği sonucuna varılmıştır.

Anaerobik hibrit reaktörde giderilmeyen NH₄-N'u aerobik reaktörde NO₃-N'na dönüştürülmektedir. Aerobik sürekli karıştırılmalı tank reaktörde % 85 oranında NH₄-N giderilmesine rağmen oluşan NO₃-N da giderilmelidir. Bu nedenle çalışma devamında aerobik reaktörden sonra yapılacak anoksik bir reaktörle NO₃-N'ın N₂ gazına çevrilmesi ve denitrifikasyonunun gerçekleşmesi düşünülebilir.

KAYNAKLAR

- Ağdağ, O. N., Karahan, H.,** 2009. Denizli Belediyesi Çöp Depolama Sahasında Oluşan Katı Atık Sızıntı Sularının Kirlilik Parametrelerinin Belirlenmesi ve Anaerobik/Aerobik Sistemlerde Arıtılabilirliği. 2006MHF002 no'lu Bilimsel Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Denizli, Türkiye.
- Ağdağ, O.N., Sponza, D.T.,** 2005. Sızıntı Sularının Yukarı Akışlı Çamur Yatak/Tam Karışım Tank Reaktör Sistemlerinde Arıtılması. *İTÜ Dergisi Su Kirlenmesi Kontrolü*, 15 (1-3), 29-42.
- Aktaş, N.,** 2003. Akışkan Yatak Biyofilm Reaktörde (AYBR) Peyniraltı Atıksuyunun Arıtılması ve Sistem Performansının Modellenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 12-21.
- Anderson, G. K, Yang, G.,** 1992. Determination of Bicarbonate and Volatile Acid Concentration in Anaerobic Digesters Using A Simple Titration. *Water Environment Research*, 64, 53-59.
- Antonopoulou, G., Stamatelatos, K., Venetsaneas, N., Kornaros M., Lyberatos, G.,** 2008. Biohydrogen and Methane Production from Cheese Whey in a Two-Stage Anaerobic Process. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 47 (15), pp 5227–5233.
- APPA-AWWA-WEF,** 1992. Standard Methods For The Examination Water And Wastewater, 18th Ed.; Washington DC, USA.
- Barford, J.P., Cail, R.G., Callender, I.J., Floyd, E. J.,** 1996. Anaerobic digestion of high-strength cheese-whey utilizing semicontinuous digesters and chemical flocculant addition. *Biotechnology and Bioengineering*, 28(11): 1601-1607.
- Beydilli, M.I., Pavlosathis, S.G., Tincher, W.C.,** 1998. Decolorization And Toxicity Screening F Selected Reactive Azo Dyes Under Methanogenic Conditions. *Water Sci. Technol.*, 38, 4-5, 225-232.
- Büyükkamacı, N., Filibeli, A.,** 2001. Anaerobic Treatment Of High Strength Wastewaters by Hybrid Reactor Technology. Turkish-German Symposium on Recent Advances in Waste Water Treatment.
- Büyükkamacı, N., Filibeli, A.,** 2002. Concentrated Wastewater Treatment Studies Using an Hybrid Reactor, *Process Biochemistry*, 38, 771-775
- Büyükkamacı, N., Filibeli, A.,** 2004. Volatile Fatty Acid Formation in An Anaerobic Hybrid Reactor. *Process Biochemistry*, 39 1491–1494.
- Cohen, A., Thiele, J.H., Zeikus, J.G.,** 1994. Pilot Scale Anaerobic Treatment Of Cheese Whey By Substrate Shuttle Process. *Water Sci. Technol.*, 30(12): 433- 442.
- Desai, M., Patel, V. ve Madamvar, D.,** 1994. Effect Of Temperature And Retention Time On Biomethanation Of Cheese Whey-Poultry Waste-Cattle Dung. *Environmental Pollution*, 83: 311-315.
- Donlon, B. A., Razo-Flores, E., Field, J. A., Lettinga, G.,** 1995. Toxicity Of N-Substituted Aromatics To Acetolastic Methanogenic Activity in

Granular Sludge. *Applied an Environmental Microbiology*, 61 3889-3893.

- Ergüder, T.H., Tezel, U., Güven, E., Demirer, G.N.,** 2001. Anaerobic Biotransformation And Methane Generation Potential Of Cheese Whey in Batch And UASB Reactors. *Waste Management*, 21: 643-650.
- Eryılmaz H.,** 1981. Biyogaz Üretiminde Türkiye Koşullarına Uygun En İyi Süreç Tipinin Tespiti. T.C. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı Toprak Su Genel Müdürlüğü Merkez Topraksu Araştırma Enstitüsü yayınları, Ankara, 21.
- Fang, H.H.P.,** 1991. Treatment Of Wastewater From A Whey Processing Plant Using Activated Sludge And Anaerobic Procces. *Journal of Dairy Science*, 74: 2015-2019.
- Farizoğlu, B.,** 1996. Peyniraltı Sularının Membran Filtrasyonlu Püskürtme Çevrimli Biyoreaktörlerde Arıtımı. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 353.
- Filibeli, A., Büyükkamacı, N., Ayol, A.,** 2000. Anaerobik Arıtıma. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, Türkiye.
- Frigon, J.-C., Breton, J., Bruneau, T., Moletta, R., Guiot, S.R.,** 2009. The treatment of cheese whey wastewater by sequential anaerobic and aerobic steps in a single digester at pilot scale, *Bioresource Technology* 100 (2009) 4156–4163
- Gannoun, H., Khelifi, E., Bouallagui, H., Touhami, Y., Hamdi, M.,** 2008. Ecological Clarification Of Cheese Whey Prior To Anaerobic Digestion in Upflow Anaerobic Filter. *Bioresource Technology*. 99, 6105-6111.
- Gupta Sunil Kumar, Gupta, S. K., Singh, Gurdeep.,** 2007. Anaerobic Hybrid Reactor – A Promising Technology for the Treatment of Distillery Spent Wash. *Journal of Indian School of Mines*, Vol.11, No.1, 25-38.
- Guiot, S. R., and van den Berg, L.,** 1985. Performance Of An Anaerobic Reactor Combining A Sludge Blanket And A Filter Treating Sugar Waste. *Biotechnol. Bioeng.*, 800-806.
- Gülşen, H., Turan, M.,** 2003. Sızıntı Sularının Akışkan Yataklı Reaktörde Anaerobik Arıtılabilirliği. 2. *Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu*, Ankara, Türkiye.
- Hofvendahl, K., ve Hahn-Hagerdal, B.,** 2000. Factors Affecting The Fermentative Lactic Acid Production From Renewable Reources. *Enzyme and Microbial Technology*, 26, 87-107.
- Işık, F.,** 1999. Peyniraltı Sularının Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Örtü Reaktörü İle Arıtılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 16-17.
- İnce O.,** 1998a. Potential Energy Production From Anaerobic Digestion Of Dairy Wastewater. *J. Environ. Sci. Health*, Part A: Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng., 33, 1219-1228.

- İnce O., İnce B.K., Donnelly, T.**, 2000. Attachment, Strength And Performance Of A Porous Media in An Upflow Anaerobic Filter Treating Dairy Wastewater, *Water Science and Technology*, 41, 261-270.
- İl Tarım ve Köy İşleri Müdürlüğü (İTKM)**, 2009. 2008 yılı faaliyet raporu
- Kalyuzhnyi, S.V., Martinez, E.P., Martinez, J.R.**, 1997. Anaerobic Treatment Of High-Strength Cheese-Whey Wastewaters in Laboratory And Pilot UASB Reactors. *Bioresearch Technology*, 60: 59-65.
- Kimata, T., Kainoi, T., Tada, M., Tomkar, K., Shirabe, K., and Shirrizu, K.**, 1993. Anaerobic Treatment Of Thermal Sludge Conditioning Liquor With Granular Sludge. *Water Environ. Res.* 65, 6 – 14.
- Kurt, A.**, 2003. Süt Teknolojisi. Atatürk Üniversitesi Gıda Bilimi ve Teknolojisi Bölümü Yayınları, Erzurum, Türkiye, 4-9.
- Malaspina, F., Stante, L., Cellamare, C.M., Tilche, A.**, 1995. Cheese Whey And Cheese Factory Wastewater Treatment With A Biological Anaerobic-Aerobic Process. *Water Sci Technol*, 32(12): 59-72.
- Malaspina, F., Cellamare, C.M., Tilche, A.**, 1996. Anaerobic Treatment Of Cheese Whey With A Downflow-Upflow Hybrid Reactor. *Bioresearch Technology*, 55: 131-139.
- Mawson, A. J.**, 1994. Bioconversions For Whey Utilization And Waste Abatement. *Bioresearch Technology*, 47: 195-203.
- Mendez, R., Blazquez, R., Lorenzo, F., Lema, J.M.**, 1989. Anaerobic Treatment Of Cheese Whey: Start-Up And Operation. *Water Sci. Technol.*, 21(12): 1857- 1860.
- Muslu, Y.**, 1994. Atıksuların Arıtılması, İ.T.Ü. Yayınları, İstanbul, I-II: 1, 646.
- Nadais, H., Capella, I., Arroja, L., and Duarte, A.**, 2005. Optimum Cycle Time For Intermittent UASB Reactors Treating Dairy Wastewater. *Water Research*, 2164-2175, January.
- Omil, F., Garrido, J. M., Arrojo, B., Mendez, R.**, 2003. Anaerobic Filter Reactor Performance For The Treatment Of Complex Dairy Wastewater At Industrial Scale. *Water Research* (37), 4099-4108.
- Owen, W., Stuckey, D.C., Healy, J.B., Young, L.Y., McCarty, P.L.**, 1978. Bioassay For Monitoring Biochemical Methane Potential And Anaerobic Toxicity, *Water Research*, 13 485-492.
- Özdemir, M., Şeker, M., ve Taşçı, Ö.**, 2001. Gıda Sektörü Kocaeli Sanayi için Teknolojik Uzgörü raporu, 137-148.
- Öztürk, İ.**, 1999. Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları. İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul, 6-16, 26-48.
- Pala, A., Sponza, D.**, 1994. Bir Süt Endüstrisi Atıksularının Karakterizasyonu Ve Arıtma Sisteminin İncelenmesi. *İTÜ 4. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu 94*, İstanbul, 55-65.
- Patel C. and Madamwar D.**, 1997. Biomethanation Of Salty Cheese Whey Using An Anaerobic Biological Contact Reactor, *Journal of Ferment Bioeng*, 83: 502-4.

- Selvamurugan, M., Doraisamy, P., Maheswari, M., Nandakumar, N.B.**, 2010. High Rate Anaerobic Treatment of Coffee Processing Wastewater Using Upflow Anaerobic Hybrid Reactor”, *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, Vol. 7, No. 2, pp. 129-136.
- Speece R.E.**, 1996: *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*, Archae Press, Nashville, Tennessee, USA.
- Siso, G.M.L.**, 1996. The Biotechnological Utilization Of Cheese Whey: A Review. *Bioresarch Technology*, 57: 1-11.
- Sözer, S., Yıldız, O.**, 2006. Sığır Gübresi ve Peynir Altı Suyu Karışımlarından Biyogaz Üretimi Üzerine Bir Araştırma. 19(2):179-183.
- Timur, H., Öztürk, İ.**, 1997. Anaerobic Treatment of Leachate Using Sequencing Batch Reactor and Hybrid Bed Filter, *Water Science and Technology*, 36 (6-7), 501-508.
- Url-1** <<http://www.tuik.gov.tr/>> Gıda Sanayi Atıkları. Alındığı tarih 17.06.2007.
- Url-2** <http://www.helalvedogal.com/peynir-peynir-alti-suyu-tozu/> Süt tozu teknolojisi. Alındığı tarih 15.11.2009.
- Url-3** <http://eng.ege.edu.tr/~otles/foodwaste.tripod.com/id12.html> Food waste. Alındığı tarih 22.11.2009.
- Url-4**<<http://www.yorumla.net/genel-kultur/807011-peynir-alti-suyu-nasil-degerlendirilir.html>> , alındığı tarih 22.11.2009.
- Viraraghavan T. ve Kikkeri S.R.**, 1990. Effect Of Temperature On Anaerobic Filter Treatment Of Dairy Wastewater, *Water Science and Technology*, 22,191-198.
- Viraraghavan T. ve Kikkeri S.R.**, 1991a. Dairy Wastewater Treatment Using Anaerobic Filters. *Can. Agric. Eng.*, 33, 143-149.
- Yan,J.Q., Lo, K.V.& Liao, P.H.**, 1989. Anaerobic Digestion Of Cheese Whey Using Upflow Anarobic Sludge Blanket Reactor. *Biol.Wastes*, 27: 289-305 .
- Yenigün, O., Mutlutürk, G.**, 1991. Peyniraltı Suyu Atık Giderimi Ve Peyniraltı Suyundan Biyogaz Eldesi”, *Türkiye Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 536-549.
- Yüceer, S.**, 2006. Anaerobik Filtrelerde Substrat Giderme Kinetiğine Sıcaklığın Etkisinin İncelenmesi, Yüksek lisans Tezi,Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Sadık UYUM

Doğum Yeri ve Tarihi: 30.03.1985

Adres: Karşiyaka Mah. Çamlık Cad. Açıköz Sok. No 35/2
Buldan/DENİZLİ

Lisans Üniversitesi: Selçuk Üniversitesi

Yayın Listesi:

Uyum, S., Ağdağ, O. N., 2010: Investigation Of Start-Up And Initial Stage Of Anaerobic Hybrid Reactor For Cheese Whey Treatment, *International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium, Konya*

Uyum, S., Ağdağ, O.N., Peyniraltı atıksularının oluşumu ve anaerobik arıtımı, Ekoloji 2010 Sempozyumu, S84. , 2010