

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK ORGANİK MADDE İÇEREN ATIKSULARIN
HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI REAKTÖRLERDE
ARITILMASI**

Sibel ASLAN

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELAZIĞ
2002**

116607
116607

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK ORGANİK MADDE İÇEREN ATIKSULARIN
HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI REAKTÖRLERDE ARITILMASI

Sibel ASLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez,Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği /
Oyçokluğu İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

Danışman

Prof. Dr. Nusret ŞEKERDAĞ

(İmza)

Üye

Doç. Dr. Ayhan ÜNLÜ

(İmza)

Üye

Doç. Dr. Sait SELİK

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih
ve..... Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YÜKSEK ORGANİK MADDE İÇEREN ATIKSULARIN HAVASIZ ÇAMUR
YATAKLI REAKTÖRLERDE ARITILMASI**

Sibel ASLAN

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
2002, Sayfa 77

Havasız çamur yataklı reaktörler, gıda/meşrubat, içki ve ziraat gibi çeşitli endüstrilerden gelen yüksek güçteki atıksuların arıtımı için giderek artan şekilde uygulanmaktadır. Havasız çamur yataklı reaktörler, mekanik bir karıştırma ve reaktör dışında bir çökeltme birimine ihtiyaç göstermeyen, ilk yatırım maliyeti nispeten düşük ve yapısı oldukça basit bir havasız arıtma prosesidir. Verimliliği, yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük ve işletilmesinin kolay olması gibi sebeplerle, özellikle gelişmekte olan ülkeler için uygun bir atıksu arıtma alternatifi olarak görünmektedir. Bu çalışmada aynı cins ve çapta iki reaktör kullanılmıştır. Alıştırma devresi boyunca sentetik atıksu geri devrettirilmiştir. Reaktörlerin giriş ve çıkışından alınan numunelerde pH, KOİ, TKN, TP, TKM, AKM, UKM ve alkalinite analizleri, numune alma musluklarından alınan numunelerde ise TAKM ve UAKM analizleri yapılmıştır. Çeşitli organik yük, hidrolik yük ve hidrolik bekleme zamanlarında elde edilen arıtma verimi ve oluşan metan gazı miktarı incelenmiştir. Aynı zamanda bu parametrelerin gaz-katı-sıvı ayırımına olan etkisi incelenerek, en iyi ayırımın gerçekleşmesi için gerekli olan optimum şartlar araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Havasız Çamur Yataklı Reaktörler, Granülasyon, Yüksek Organik Madde İçeren Atıksular, Gaz-Katı-Sıvı Ayırımı

ABSTRACT

Master Thesis

**Treatment of Wastewatres Containing High Organic Matter in Upflow Anaerobic Sludge
Blanket (UASB) Reactors**

Sibel ASLAN

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

2002, Page : 77

Upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors, has gradually applied for the treatment of high-strength wastewaters from various industries, such as food/beverage, distillery and agriculture. They don't need a mechanical mixing and a settling unit outside reactor, and their investment costs are relatively less than other anaerobic treatment systems, and their constructions are very simple. Because of their effectiveness, low of investment and operating costs, and easy to operate has become very popular in especially developing countries. In this study, it was used two reactors with the same kind and size. A synthetic wastewater was continuously recirculated throughout acclimation period. pH, COD, TKN, TP, TS, VS, SS, and alkalinity experiments were done in the samples from influent and effluent of reactors. pH, MLSS, MLVSS and alkalinity experiments in the samples from sample ports were also done. It was investigated removal efficiency obtained for various organic loading, hydraulic loading and hydraulic retention times, and it was measured amount of produced CH₄ gas. At the same time, it was investigated influence of these parameters on gas-solid-liquid separation, and optimal conditions for the best gas-solid-liquid separation.

Key Words : Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors, Granulation, Wastewaters Containing High Organic Matter, Gas-Solid-Liquid Separation.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XII

1. GİRİŞ	1
2. HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI REAKTÖRLER	3
2.1. Proses Açıklaması.....	3
2.2. Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerin Tasarım Esasları	5
2.2.1. Hidroliz reaktörü.....	5
2.2.2. Asitleştirme reaktörü.....	5
2.2.3. Havasız çamur yataklı reaktör	6
2.2.4. Debi dağıtım sistemi	7
2.2.5. Gaz-katı-sıvı ayırıcı	8
2.3. İşletmeye Alma.....	9
2.3.1. Aşılama ve granülasyon	9
2.3.2. Çevre Şartları.....	11
2.4. İşletme.....	17
2.4.1. Atığın ön arıtımı	17
2.4.2. Granüllerin özellikleri	18
2.4.2.1. Fiziksel ve kimyasal özellikler	18
2.4.2.2. Metabolik aktivite	18
2.4.2.3. Mikrobiyal bileşim ve granül yapısı	19
2.5. İşletmeye Alma ve İşletme Problemleri.....	20

3. LİTERATÜR ÖZETİ	22
4. MATERYAL VE METOD	32
4.1. Deney Düzenegi	32
4.2. Yapılan Analizler ve Analiz Metodları.....	36
4.2.1. Kimyasal oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini (Dikromat Metodu)	36
4.2.2. Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) Tayini	37
4.2.3. Toplam Fosfor (TP) Tayini (Persülfat Parçalaması Metodu).....	38
4.2.4. Toplam Katı Madde (TKM) Tayini	39
4.2.5. Uçucu Katı Madde (TKM) Tayini	40
4.2.6. Askıda Katı Madde (TKM) Tayini	40
5. BULGULAR	41
5.1. 1. Reaktörde Yapılan Analizlerin Sonuçları	42
5.2. 2. Reaktörde Yapılan Analizlerin Sonuçları	56
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	69
KAYNAKLAR	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Havasız Çamur Yataklı Rektör	4
Şekil 2.2. Biothane Firmasınca Geliştirilen Havasız Çamur Yataklı Reaktörün Şematik Resmi	8
Şekil 2.3. Havasız Arıtmada Sıcaklığın Gaz Üretimine Etkisi	13
Şekil 4.1. Çalışmada Kullanılan Deney Düzeneği	33
Şekil 4.2. Çalışmada Kullanılan Gaz Ölçüm Düzeneği	34
Şekil 5.1. 1.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca KOİ Giderimi	42
Şekil 5.2. 1.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca TKM, UKM ve AKM Giderimi	43
Şekil 5.3. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca TAKM Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi	44
Şekil 5.4. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca UAKM Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi	44
Şekil 5.5. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca TAKM Konsantrasyonunun Reaktör Yüksekliği İle Değişimi	45
Şekil 5.6. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca UAKM Konsantrasyonunun Reaktör Yüksekliği İle Değişimi	45
Şekil 5.7. 1. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki İlişki	47
Şekil 5.8. 1. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TKN Giderme Verimi Arasındaki İlişki	49
Şekil 5.9. 1. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TP Giderme Verimi Arasındaki İlişki	49
Şekil 5.10. 1. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki	50
Şekil 5.11. 1. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle UKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki	51

Şekil 5.12. 1. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle AKM Giderme Verimi	
Arasındaki İlişki	51
Şekil 5.13. 1. Reaktörde Organik Yük İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki	
İlişki	52
Şekil 5.14. 1. Reaktörde Organik Yük İle Toplam Gaz Miktarı Arasındaki İlişki	53
Şekil 5.15. 1. Reaktörde Organik Yük İle TKM, UKM ve AKM Giderme Verimi	
Arasındaki İlişki	54
Şekil 5.16. 1. Reaktörde Geri Devir Oranı İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki	
İlişki.....	55
Şekil 5.17. 2. Reaktörde Alistırma Devresi Boyunca KOİ Giderimi.....	56
Şekil 5.18. 2. Reaktörde Alistırma Devresi Boyunca TKM, UKM ve AKM Giderimi.....	57
Şekil 5.19. 2. Reaktörde Alistırma Devresi Boyunca TAKM Konsantrasyonunun	
Zamanla Değişimi	58
Şekil 5.20. 2. Reaktörde Alistırma Devresi Boyunca UAKM Konsantrasyonunun	
Zamanla Değişimi	58
Şekil 5.21. 2. Reaktörde Alistırma Devresi Boyunca TAKM Konsantrasyonunun	
Reaktör Yüksekliği İle Değişimi	59
Şekil 5.22. 2. Reaktörde Alistırma Devresi Boyunca UAKM Konsantrasyonunun	
Reaktör Yüksekliği İle Değişimi	59
Şekil 5.23. 2. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle KOİ Giderme Verimi	
Arasındaki İlişki	60
Şekil 5.24. 2. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yükler İle TKN Giderme Verimi	
Arasındaki İlişki	62
Şekil 5.25. 2. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TP Giderme Verimi	
Arasındaki İlişki	62
Şekil 5.26. 2. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TKM Giderme Verimi	
Arasındaki İlişki	63

Şekil 5.27. 2. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle UKM Giderme Verimi

Arasındaki İlişki..... 63

Şekil 5.28. 2. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle AKM Giderme Verimi

Arasındaki İlişki 64

Şekil 5.29. 2. Reaktörde Organik Yük İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki

İlişki 65

Şekil 5.30. 2. Reaktörde Organik Yük İle Toplam Gaz Miktarı Arasındaki İlişki 66

Şekil 5.31. 2. Reaktörde Organik Yük İle TKM, UKM ve AKM Giderme Verimi

Arasındaki İlişki..... 67

Şekil 5.32. 2. Reaktörde Geri Devir Oranı İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki

İlişki..... 68

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotoğraf 2.1. Biothane Firmasınca Yapılan Havasız Çamur Yataklı Reaktör

Tesis.....4



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Evsel Atıksu Çamurlarının Aşı Olarak Kullanılması Halinde HÇYR	
İçin Tavsiye Edilen İşletmeye Alma Stratejisi	11
Tablo 2.2. Havasız Mikroorganizmalar İçin Optimum Çevre Şartları	12
Tablo 2.3. Metan Fermantasyonunda Gerekli Çevre Koşulları	12
Tablo 3.1. Havasız Arıtma Sistemlerinin Organik Yük ve Verim Bakımından	
Mukayesesi	23
Tablo 3.2.HÇYR'lerin Endüstriyel Atıksu Arıtımındaki Uygulamaları İle İlgili	
Çalışmalar	24
Tablo 3.3. Atıksuyun Kuvvetine ve Atıksudaki Çözünmeyen KOİ Oranına Bağlı	
Olarak HÇYR'lerde Uygulanabilir Yüzey Yükleri	25
Tablo 3.4. Granüler Çamurlu HÇYR'lerde İşletme Sıcaklığına Bağlı Olarak	
Uygulanabilir Hacimsel Organik Yükleme Hızları	26
Tablo 4.1. Sentetik Atıksuyun Bileşimi	35
Tablo 4.2. Çalışmada Kullanılan Aşı Çamurunun Özellikleri	36
Tablo 5.1. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca Yapılan Analizlerin Sonuçları.....	42
Tablo 5.2. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca Numune Alma Musluklarında	
Yapılan Analizlerin Sonuçları	43
Tablo 5.3. 1. Reaktörde Farklı Hacimsel Hidrolik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme	
Verimleri.....	46
Tablo 5.4. 1. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yüke Göre Çeşitli Parametreler İçin Arıtma	
Verimleri.....	48
Tablo 5.5. 1. Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri	
(HBS= 3 Gün).....	52
Tablo 5.6. 1. Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme Verimi ve	
Oluşan Toplam Gaz Miktarı	53

Tablo 5.7. 1. Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen TKM, UKM ve AKM

Giderme Verimleri	54
-------------------------	----

Tablo 5.8. 1. Reaktörde Farklı Geri Devir Oranlarında Elde Edilen KOİ Giderme

Verimleri.....	55
----------------	----

Tablo 5.9. 2. Reaktörde Aıştırma Devresi Boyunca Yapılan Analizlerin Sonuçları.....56

Tablo 5.10. 2. Reaktörde Aıştırma Devresi Boyunca Numune Alma Musluklarında

Yapılan Analizlerin Sonuçları	57
-------------------------------------	----

Tablo 5.11. 2. Reaktörde Farklı Hacimsel Hidrolik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme

Verimleri.....	60
----------------	----

Tablo 5.12. 2. Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yüke Göre Çeşitli Parametreler İçin Arıtma

Verimleri.....	61
----------------	----

Tablo 5.13. 2. Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri

(HBS= 5 Gün).....	64
-------------------	----

Tablo 5.14. 2. Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme Verimi ve

Oluşan Toplam Gaz Miktarı	65
---------------------------------	----

Tablo 5.15. 2. Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen TKM, UKM ve AKM

Giderme Verimleri	66
-------------------------	----

Tablo 5.16. 2. Reaktörde Farklı Geri Devir Oranlarında Elde Edilen KOİ Giderme

Verimleri.....	67
----------------	----

KISALTMALAR LİSTESİ

AKM	: Askıda Katı Madde
HÇYR	: Havasız Çamur Yataklı Reaktör
HF	: Havasız Filtre
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TAKM	: Toplam Askıda Katı Madde
TKM	: Toplam Katı Madde
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
TP	: Toplam Fosfor
TUA	: Toplam Uçucu Asit
UAKM	: Uçucu Askıda Katı Madde
UKM	: Uçucu Katı Madde
UYA	: Uçucu Yağ Asiti

1. GİRİŞ

Havasız arıtma, organik maddelerin oksijensiz bir ortamda metan ve karbondioksit'e dönüştürülmesi işlemidir. Önceleri sadece çamur stabilizasyonu için kullanılan havasız arıtma, son yıllarda kirlilik yükleri çok yüksek olan endüstriyel atıksuların arıtılmasında etkili bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır. Havasız prosesler yüksek arıtma verimine sahip olmaları, daha az miktarda atık çamur oluşturmaları, daha az besi maddesine ihtiyaç duymaları, enerji sarfiyatının daha düşük olması, sürekli, kesikli veya mevsimlik çalıştırılabilmeleri, nihai ürün olan metan gazının yüksek enerji değeri sebebiyle ekonomik kazanç sağlayabilmesi gibi üstünlüklere sahiptir.

Havasız çamur yataklı reaktörler (HÇYR), mekanik bir karıştırma ve reaktör dışında bir çöktürme birimine ihtiyaç göstermeyen, ilk yatırım maliyeti rölatif olarak düşük ve yapısı oldukça basit bir havasız arıtma prosesidir. Verimliliği, yatırım ve işletme maliyetlerinin düşük ve işletilmesinin kolay olması gibi sebeplerle HÇYR, özellikle gelişmekte olan ülkeler için uygun bir atıksu arıtma alternatifi olarak görünmektedir.

Havasız çamur yataklı reaktörde biyokütle, yüksek çökelme özelliğine sahip granül halindeki bakteri flokları şeklinde tutulur. Bu sistem temel olarak, reaktör içinde yoğun çamur granülleri ya da flokların oluşturulması işlemidir. Arıtma, reaktörün alt kısmındaki çamur yatağı ile bunun üst kesimindeki çamur örtüsünce gerçekleştirilmektedir. Beslenen atığın organik madde muhtevasına bağlı olarak, kuvvetli atıklarda çamur yatağı, seyreltik atıklarda ise çamur örtüsü arıtmada ağırlıklı rol oynamaktadır. Çökelme hızı yüksek ağır aktif granüller çamur yatağı sayesinde hidrolik bekleme süresinin 3-4 saat gibi değerler alması halinde dahi, biyokütle kaybı olmaksızın sistem işletilebilmektedir.

Evsel atıksular, düşük miktarda organik madde içermekle birlikte, şeker, fermentasyon, bira, v.b. endüstriler tarafından üretilen atıksular oldukça yüksek miktarda organik madde içerirler. Atıksuların içerdikleri yüksek miktardaki organik maddeler akarsu, göl ve deniz gibi alıcı ortamlarda çözünmüş oksijenin tükenmesine ve ortamın havasız duruma geçmesine neden olur. Havasız ortamlarda balık ve diğer yüksek canlıların yaşaması mümkün olmadığı gibi, oksijensiz sular içme ve kullanma suyu temini, dinlenme gibi kullanım amaçlarına da uygun değildir.

Orta ve yüksek derecede organik madde ihtiva eden atıksularla kompleks atıksuların arıtımında havasız çamur yataklı reaktörlerin kullanılmasının daha ekonomik ve daha verimli olduğu pilot ölçekli ve kurulu tesislerde kanıtlanmıştır. Endüstriyel boyutlu reaktörlerde, organik yük $5-15 \text{ kg KOİ/m}^3\text{-G}$ iken, laboratuvar ve pilot ölçekli reaktörlerde $40 \text{ kg KOİ/m}^3\text{-G}$ 'e kadar kullanılmış olup, KOİ giderme verimi %85-95 arasındadır.

Bu çalışmada, özellikle endüstriyel atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan havasız çamur yataklı reaktörlerde yüksek organik madde içeren atıksuların arıtılması incelenmiştir. Aynı zamanda reaktörlerde yüksek hızlı bir arıtma verimi elde edilmesi için gaz-katı-sıvı ayırımının en uygun durumunun gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada aynı cins ve çapta olmak üzere 2 adet pilot ölçekli havasız çamur yataklı reaktör kurularak deneylerde sentetik atıksu kullanılmıştır. Sentetik atıksu yüksek miktarda organik madde içermekle birlikte, aynı zamanda mikroorganizmaların ihtiyaç duydukları temel elementler ile iz elementleri de ihtiva etmiştir. Reaktörlerde granülasyonu oluşturmak amacıyla belli miktarda granüler çamur aşısı maddesi olarak kullanılmıştır. Sentetik atıksu alıştırma devresi boyunca geri devrettirilmiştir. Reaktörlerin giriş ve çıkışından alınan numunelerde pH, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam kjeldahl azotu (TKN), toplam katı madde (TKM), askıda katı madde (AKM), uçucu katı madde (UKM), toplam fosfor (TP) ve alkalinite analizleri, numune alma musluklarından alınan numunelerde ise toplam askıda katı madde (TAKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) analizleri Standart Metotlar'a (1982) göre yapılmıştır. Çalışma 6 ay boyunca sürdürülmüştür.

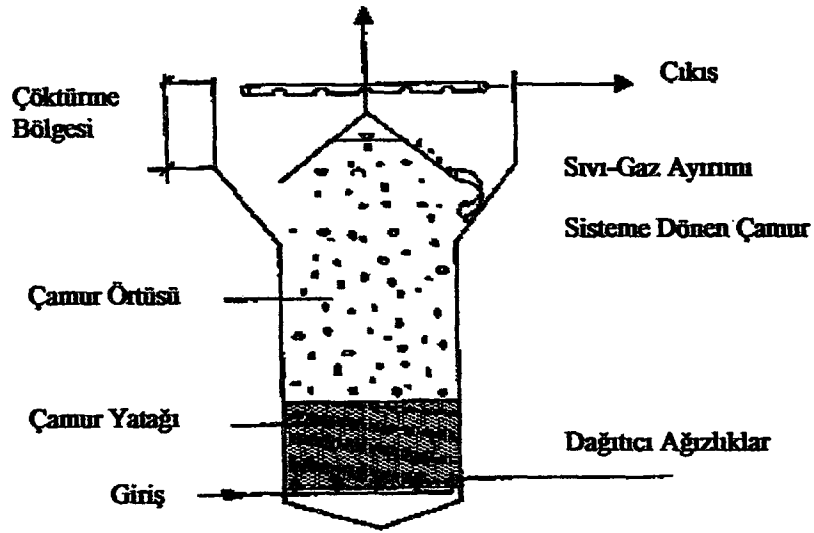
2. HAVASIZ ÇAMUR YATAKLI REAKTÖRLER

2.1. Proses Açıklaması

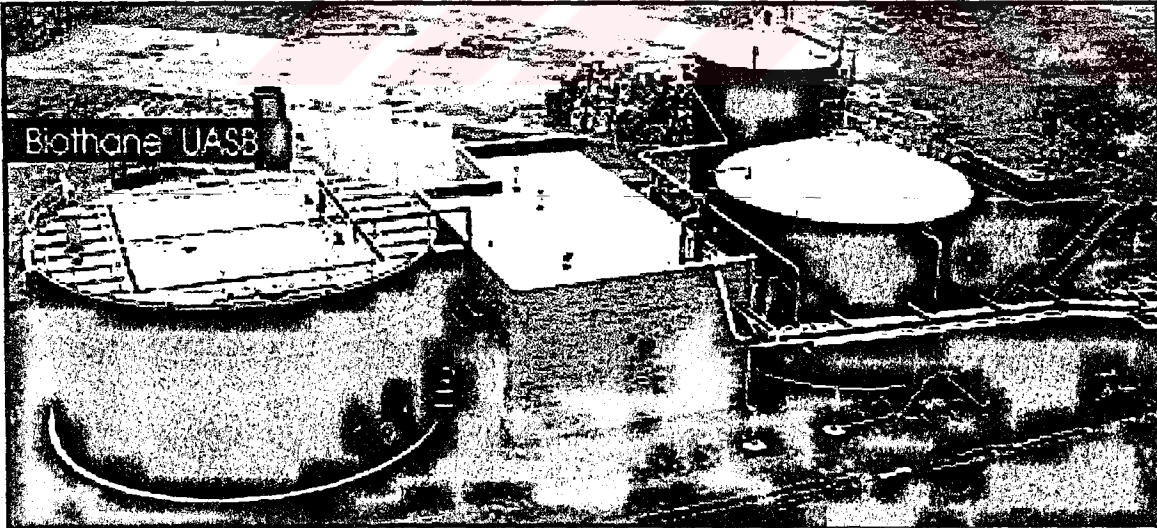
Havasız çamur yataklı reaktörler (HÇYR), Lettinga ve meslektaşları tarafından 1970'lerde Hollanda'da geliştirilmiş ve çeşitli endüstriyel atıksuların arıtımında başarılı şekilde kullanılmıştır (Fang, vd., 1995a). Havasız çamur yataklı reaktörler, mekanik bir karıştırma ve reaktör dışında bir çöktürme birimine ihtiyaç göstermeyen yüksek hızlı sistemlerdir.

HÇYR'nin esası, arıtmayı sağlayan biyokütleyi uygun işletme koşullarında, granüler halde reaktörde tutarak sistemi yüksek çamur konsantrasyonu ve çamur yaşlarında çalıştırmaya dayanmaktadır (Tüfekçi ve Kınacı, 1992). Tipik bir havasız çamur yataklı reaktör, biyolojik bir reaksiyon bölgesi ve bir çökeltme bölgesinden meydana gelmektedir (Şekil 2.1). Reaksiyon bölgesinde atıksu akımı aktif bir çamur yatağından yukarıya doğru hareket ederken, girişteki organik bileşikler metana ve karbondioksit'e dönüştürülür. Üretilen gaz ve yüzen çamur, reaktörün üst kısmına yerleştirilen gaz-katı-sıvı ayırıcısıyla çıkış sıvısından ayrılır (Hickey, vd., 1991). Böylece aktif biyokütle reaktör içinde tutulmakta ve yüksek çamur bekleme süreleri, hidrolik bekleme sürelerine bağlı olmadan ve bir destek malzemesine gerek olmadan sağlanabilmektedir (Uğurlu, 1995). İyi şekilde işletilen HÇYR'de oluşan havasız çamur, iyi çökeltme özelliklerine sahiptir ve çoğu kez granüler haldedir (Hickey, vd., 1991).

Havasız çamur yataklı reaktörlerde, arıtmayı sağlayan mikroorganizmalar yumaklaşarak zamanla kolay çökebilen 0.1-8 mm boyutunda granüller oluşturmaktadır (Fang, vd., 1995b). Havasız çamur yataklı reaktörlerin başarısı doğrudan, iyi granüle olmuş çamur üretmeye bağlıdır (Tüfekçi ve Kınacı, 1992). Bu tür çamurların yer aldığı reaktörlerde oldukça yüksek hidrolik ve organik yükler rahatça uygulanabilmektedir. Genel olarak sürekli şartlarda granülasyon oluşabilir. Bazı durumlarda istenen özellikte granüler çamur üretilmeyebilir. Havasız çamur yataklı reaktörlerde istenen özellikte granüler çamur elde edilmesi, tesislerin işletmeye alınması safhasından itibaren uygulanacak olan yükleme stratejisi ile yakinen ilgili bulunmaktadır (Hulshoff Pol, vd., 1984).



Şekil 2.1. Havasız Çamur Yataklı Reaktör (Öztürk, 1999)



Fotoğraf 2.1. Biothane Firmasının Yapılan Havasız Çamur Yataklı Reaktör Tesisi

2.2. Havasız Çamur Yataklı Reaktörlerin Tasarım Esasları

Reaktör tasarımının amacı, yüksek KOİ ve katı madde uzaklaştırma kapasitesiyle birlikte yüksek stabiliteye sahip, maliyeti uygun, yönetimi ve işletmeye alınması kolay bir reaktör elde etmektir (Tilche ve Vieira, 1991).

Havasız çamur yataklı reaktörlerden beklenen seviyede yüksek hızlı bir arıtma elde edilebilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gerekir:

- Gaz, sıvı ve çamurlar birbirinden çok iyi ayrılmalıdır.
- Havasız biyokütle, kolaylıkla çökelebilen granüler formda olmalıdır.
- Atıksu, reaktör tabanında olabildiğince üniform dağılacak şekilde verilmelidir (Öztürk, 1999).

2.2.1. Hidroliz Reaktörü

Atıksu bünyesindeki yüksek oranda partiküler organik maddenin çökeldikten sonra klasik çamur çürütücülerde hidrolize edilmesi gerekebilir. Bu amaçla kullanılan tam karışımli reaktörlerde, yüksek oranda havasız stabilizasyon için gerekli hidrolik bekleme süreleri,

$T=25^{\circ}\text{C}$ için $\theta=40-60$ gün

$T=30^{\circ}\text{C}$ için $\theta= 15-30$ gün

$T=35^{\circ}\text{C}$ için $\theta= 10-20$ gün

alınabilir (Lettinga ve Hulshoff Pol, 1991).

2.2.2. Asitleştirme Reaktörü

Asitleştirme fazı için uygun tasarım henüz açıklığa kavuşmadığı halde, tam kapasiteli havasız çamur yataklı reaktörlerde asitleştirme reaktörü yaygın olarak kullanılmaktadır (Ahn vd., 2001). Mevcut asitleştirme reaktörleri genelde karışımın uygulandığı yukarı akışli sistemlerdir. Basit tam karışımli tank reaktör, ön asitleştirme için kullanılabilir. Hidrolik alıkonma zamanı kompleks atığın cinsi, sıcaklık ve istenen

asitleşme seviyesine bağlı olarak belirlenir. Asitleştirme tankındaki hidrolik alıkonma süresi 6-24 saat aralığında değişir. Özellikle kuvvetli atıksuların asitleştirildiği reaktörlerde ayrıca bir çökeltme uygulanması, bilhassa granülasyon sürecinin olumsuz etkilenmemesi bakımından faydalı görünmektedir (Lettinga ve Hulshoff Pol, 1991).

2.2.3. Havasız Çamur Yataklı Reaktör

Reaktör Hacmi

Reaktör hacmi aşağıdaki parametreler dikkate alınarak belirlenir:

- Maksimum günlük KOİ yükü,
- İzin verilen yüzeysel hidrolik yük,
- Atıksuyun minimum sıcaklığı,
- Atıksuyun kuvveti, atıksuyun özellikleri (örneğin kirletici bileşenlerin karmaşıklığı ve biyolojik ayrışabilirlikleri, proteinlerin mevcudiyeti vs.),
- Belli bir biyolojik çamur konsantrasyonu için verilen hacimsel yük,
- İstenen arıtma verimi,
- İstenen çamur stabilizasyon derecesi.

Granüler çamurlu havasız çamur yataklı reaktörlerde izin verilen yüzeysel hidrolik yük, çözünmüş organik atıklar için 3 m/saat, kısmen çözünmüş organik atıklar için ise 1-1.25 m/saat alınabilir. Geçici olarak günde birkaç saat için sırasıyla 6 m/saat ve 2 m/saat yüzeysel hidrolik yük değerlerine tolere edilebilir. Yukarı akış hızları da gevşek floküler çamurlar için 0.5 m/saat yoğun floküler çamurlar için bu değerlerin 1.5 katı, granüler çamurlu havasız çamur yataklı reaktörlerde ise 6 m/saat gibi değerler alınır.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde izin verilen yukarı akış hızı V_a , reaktör yüksekliğine bağlı olarak

$$V_a = \frac{H}{\theta} \dots\dots\dots (2.1)$$

ifadesinden hesaplanır.

Burada;

- V_a :Yukarı akış hızı, m/saat
 H : Reaktör yüksekliği, m
 θ : Hidrolik bekleme süresi, saat

Tamamen çözünmüş organik atıksu arıtımında $H \geq 10$ m olabilir. Kısmen çözünmüş organik atıksular için yükseklikler daha düşüktür. Örneğin $KOI > 3000$ mg/L olan atıksu için $H=5-7$ m ve evsel atıksu gibi seyreltik atıksular için $H=3-5$ m tavsiye edilmektedir.

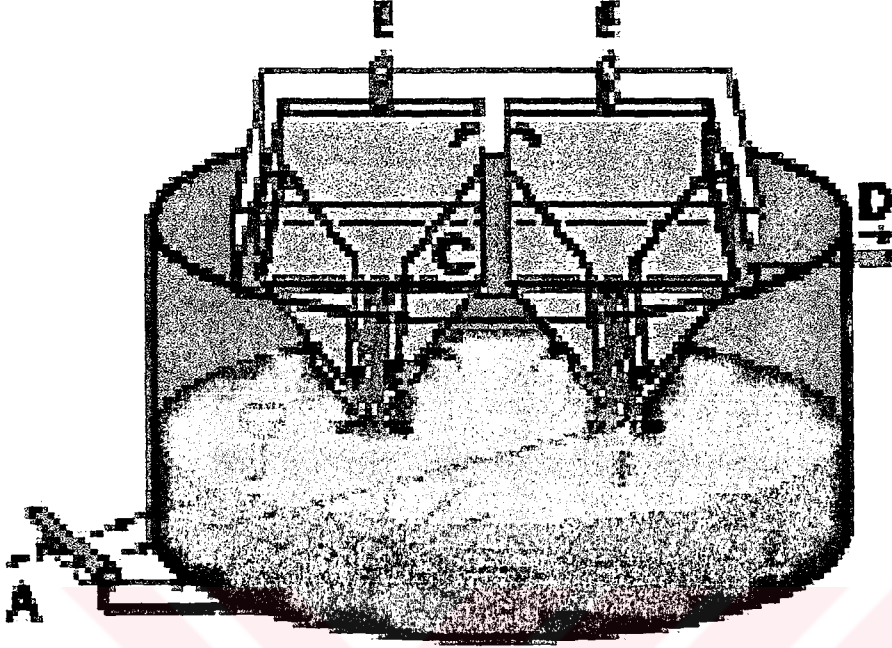
$KOI < 1000$ mg/L seyreltik atıksular için, işletme sıcaklığı $T > 25^\circ C$ olması halinde reaktör hacmi genellikle izin verilen bekleme süresine göre hesaplanır. Mezofilik altı ($T < 20^\circ C$) sıcaklıklarda işletilen reaktörlerde ise hacim hesabında izin verilen hacimsel organik yük belirleyici hale gelir (Lettinga ve Huslhoff Pol, 1991).

2.2.4. Debi Dağıtım Sistemi

Debi dağıtım sistemi reaktörün çok önemli bir kısmıdır (Lettinga ve Huslhoff Pol, 1991). Yüksek organik yüklerle arıtma yapılabilmesi için kanallanmaya mani olunmalıdır. Kanallanma özellikle karıştırma için yeterli gaz üretiminin sağlanamadığı soğuk işletme şartlarında ve seyreltik atıkların arıtılması durumunda ortaya çıkmaktadır. Çamur yatağı yüksekliğinin ve dağıtma sistemindeki delik sayısının az olması durumunda da kanallanma riski artmaktadır.

Birim giriş ağızlığı başına düşen alanla ilgili bir kriter bulunmamakla beraber ağır granüler çamur yatağı için 1 m^2 'lik alan esas alınabilir. Dağıtma sistemi $5-10 \text{ m}^2$ 'ye 1 giriş ağızlığı düşecek şekilde inşa edilen kurulu havasız çamur yataklı reaktörlerde $16 \text{ kg KOI/m}^3\text{-G'lük}$ organik yük ve 4 saatten daha az hidrolik bekleme sürelerinde KOI gideriminin %90 olduğu belirtilmektedir. Arıtılan atıksuyun organik kirlilik (KOI) değerine göre reaktör tabanındaki ağızlıklar; seyreltik atıksularda $5-10 \text{ m}^2/\text{adet}$, konsantre atıksularda ise $2-3 \text{ m}^2/\text{adet}$ esasına göre teşkil edilebilir.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde uygulanan tipik debi dağıtım sistemi Şekil 2.2’de görüldüğü şekildedir.



A: Giriş, B: Çamur Yatağı, C: Ayırıcı, D: Çıkış, E: Biyogaz

Şekil 2.2. Biothane Firmasıncı Geliştirilen Havasız Çamur Yataklı Reaktörün Şematik Resmi (Lettinga ve Hulshoff Pol, 1991).

2.2.5. Gaz-Katı-Sıvı Ayırıcı

İşletme şartları altında daha fazla çamuru sistemde tutmak için havasız çamur yataklı reaktörler gaz-katı-sıvı ayırıcı ile donatılmalıdır. Çözünebilir atıksuları arıtan havasız çamur yataklı reaktörlerde gaz-katı-sıvı ayırıcının temel amaçları şunlardır:

- 1- Reaktörden biyogazı ayırmak ve deşarj etmek.
- 2- Yaşayan bakteriyel maddenin uzaklaştırılmasını mümkün olduğu kadar önlemek.
- 3- Çürütücü bölümüne çamurun geri konulmasına imkan vermek.
- 4- Çamur örtüsü tabakasının aşırı genişlemesini sınırlandıran bariyer gibi görev yapmak.
- 5- Yüzen granüler çamurun uzaklaştırılmasını önlemek.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde gaz-katı ayırıcıların tasarım kriterleri aşağıdaki şekilde verilmektedir:

- 1- Gaz –katı-sıvı ayırıcı elemanın yatayla yaptığı açı 45° - 60° olmalıdır.
- 2- Gaz-katı-sıvı ayırıcı arasındaki toplam boşluk alanı reaktör enkesit alanının %15-20'si olmalıdır.
- 3- Gaz-katı-sıvı ayırıcı yüksekliği, reaktör yüksekliği 5-7 m iken 1.5-2 m olmalıdır.
- 4- Gaz ayırıcıda gaz-sıvı yüzeylerini ayıracak kısmi basınç altındaki bir gaz hacmi oluşturulmalıdır.
- 5- Gaz-katı-sıvı ayırıcı perdelerinin alt kısmında, gaz kaçışını engellemek için 10-20 cm'lik bindirme yapılmalıdır.
- 6- Genellikle atıksu çıkış savakları önünde köpük kaçışını engelleyici dalgıç perdeler teşkil edilmelidir.
- 7- Gaz borularının çapı, pik gaz debilerini de rahatça iletebilecek büyüklükte olmalıdır.
- 8- Gaz-katı-sıvı ayırıcı perdelerinin üst kısmındaki gaz toplama bölmesinde basınçlı su püskürtme sistemi düşünülmelidir (Lettinga ve Hulshoff Pol, 1991).

2.3. İşletmeye Alma

2.3.1. Aşılama ve granülasyon

Havasız çamur yataklı reaktörlerin işletmeye alınmasındaki en zor ve en önemli safha granüler çamurun üretilmesidir (Tüfekçi ve Kınacı, 1992). Havasız çamur yataklı reaktörlerde granülasyon herhangi bir dolgu malzemesi olmadan gerçekleştirilebilmekte ve böylece yatırım maliyeti diğer havasız proseslere nazaran daha düşük olmaktadır (Speece, 1996).

Granüler çamurun elde edilmesindeki en önemli faktör, uygun özellikte, nispeten yoğun ve fazla aktif olmayan aşı maddesinin teminidir (Tüfekçi ve Kınacı, 1992). Aşı maddesi hedef atıksudaki organik bileşikleri ayrıştırabilen mikroorganizmalara sahip olmalıdır ve granüllerin oluşumuna (veya iyi çökelme özelliğine sahip çamur gelişimine) neden olmalıdır. Aşı maddeleri granüler çamur ve granüler olmayan madde olarak sınıflandırılır (Hickey, vd., 1991).

Granüler çamur

Mevcut havasız çamur yataklı reaktörlerdeki granüler çamur, yeni havasız çamur yataklı reaktörleri işletmeye almak için aşı maddesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Aşı olarak granüler çamurun kullanılması, kısa işletme periyodunda yüksek KOİ giderme oranlarının elde edilebilmesi avantajına sahiptir. Aşı hacmi olarak toplam reaktör hacminin %10'u ile %30'u aralığındaki değerler alınabilir.

Mevcut reaktörlerden gelen granüler çamur benzer tip atıksuyu alan reaktörleri aşılama kullanıldığı zaman normal olarak işletme ile ilgili problem yoktur. Ancak farklı tip atıksuları arıtan reaktörü aşılama için granüller kullanıldığı zaman başarı kesin değildir.

Granüllerle aşılama atıksuyun bileşimi hedef atıksudan büyük ölçüde farklı olduğu zaman mikrobiyal popülasyondaki değişiklikleri gerçekleştirmek için muhtemelen bir alıştırma periyoduna ihtiyaç duyulacaktır. İhtiyaç duyulan alıştırma periyodu, genellikle atıksudaki bileşenlerin biyolojik ayrışabilirliğine ve hedef bileşenleri ayrıştırmak için ihtiyaç duyulan mikroorganizmaların büyüme hızına göre değişir (Hickey, vd., 1991).

Granüler olmayan madde

Reaktörleri işletmeye almak için granüler çamur mevcut olmadığı zaman havasız çürümüş çamur, atık aktif çamur ve çiftlik gübresi gibi granüler olmayan aşı maddeleri kullanılabilir (Hickey vd., 1991). Evsel atıksu arıtma çamurlarının aşı olarak kullanılması halinde HÇYR için tavsiye edilen işletme stratejileri Tablo 2.1'de gösterilmiştir (Öztürk, 1999). İhtiyaç duyulan aşı miktarı birçok araştırmacı tarafından tartışılmıştır. Az uzaklaştırılmalı, iyi şekilde çökebilen granüler çamur geliştirmek için, düşük güçteki materyallerden (<40 g UKM/L) ziyade, nispeten yüksek katı madde konsantrasyonlu (60-75 g UKM/L) çürümüş kanalizasyon çamurunun kullanılması

Tablo 2.1. Evsel Atıksu Çamurlarının Aşı Olarak Kullanılması Halinde HÇYR İçin Tavsiye

Edilen İşletmeye Alma Stratejisi (Öztürk, 1999)

- Aşı çamuru konsantrasyonu : 10-15 kg UKM/m³
- Başlangıçtaki biyolojik yük : 0.05-0.1 kg KOİ / kg UKM-gün
- KOİ giderme verimi %80'i aşmadıkça organik yük artırılmamalı.
- Çökeltme özelliği düşük çamurların uzaklaştırılması sağlanmalı.
- Geri devir uygulanırsa, sistemden kaçan hafif çamurların yeniden reaktöre döndürülmesi önlenmelidir.
- Çamurun ağır kısmının sistemde tutulması sağlanmalı.
- Aşı çamurunun UKM konsantrasyonunun çok düşük olması halinde granülasyonu teşvik için reaktöre bir miktar inorganik çekirdek malzemesi ilave edilmeli.

tavsiye edilmektedir. Aşılınmış çürümüş çamur konsantrasyonu 10-20 gUKM/L alınmalıdır.

Hulshoff Pol ve diğerleri (1982, 1983) aşı olarak çürütülmüş kanalizasyon çamuru ve besin olarak yağ asidi karışımı kullanıldığı zaman granülasyonda üç farklı fazın ayırdedildiğini göstermişlerdir. Faz I'de çamur yatağı genişlemiş ve çamur yatağındaki çamur konsantrasyonu artmıştır. Faz II esnasında yataktaki çamur konsantrasyonu artmaya devam etmiş ve aşılınmış çamur uzaklaşmaya başlamıştır, dolayısıyla reaktördeki toplam çamur miktarı minimum seviyeye düşmüştür. Aynı zamanda çamur yatağında granüller oluşmaya başlamış ve yavaş yavaş artmıştır. Faz III'de granüllerin gelişmesi çamur uzaklaşma oranını geçmiş ve reaktördeki toplam biyokütle tekrar artmıştır. Bu üç faz sonradan uçucu yağ asidi (UYA) karışımı, glukoz malas çözeltisi ve bira fabrikası atıksuyu kullanılan granülasyon deneylerinde de gözlenmiştir (Hickey vd., 1991).

2.3.2. Çevre şartları

Havasız çamur yataklı reaktörleri işletmeye almak için, mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu her türlü maddelerin (N ve P) ve iz elementlerin (Ni, Co, Mo, vb.) yeterli miktarda bulunması gerekmektedir (Uğurlu, 1995). Havasız artımı gerçekleştiren mikroorganizmalar için gerekli olan optimum çevre şartları Tablo 2.2'de verilmiştir. Metanlaşma safhasında uygun çevre koşulları ise Tablo 2.3'de verilmiştir (Malina, J.F. ve Pohland, F.G., 1992).

Tablo 2.2. Havasız Mikroorganizmalar İçin Optimum Çevre Şartları (Malina, J.F. ve Pohland, F.G., 1992)

Parametre	Optimum Çevre Şartları
Aritılan 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, toksik ve inhibitör elementler ihtiva etmemeli
KOI/N/P	3000/10/1
pH	6.5-7.6
Sıcaklık, °C	25-40 (35-37) ve 50-60 (55)°C
Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1000-4000 (2000)
Toplam Uçucu Asitler (VFA), mg/L	<1000-1500
Toplam Uçucu Asit /Alkalinite	<0.1
Toksik Maddeler	—

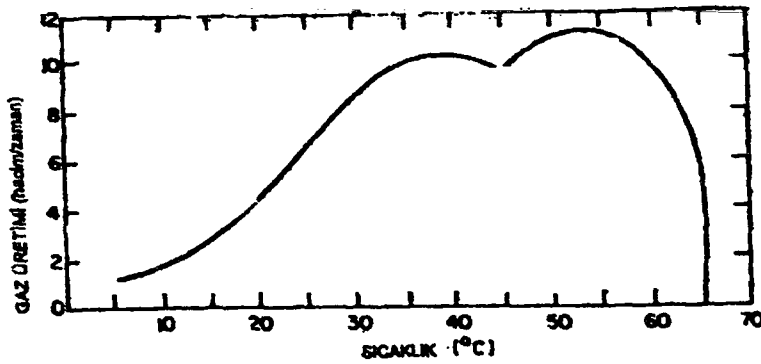
Tablo 2.3. Metan Fermantasyonunda Gerekli Çevre Koşulları (Malina, J.F. ve Pohland, F.G., 1992)

Parametre	Optimum	Maksimum
pH	6.8-7.4	6.4-7.8
Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli (ORP), mV	-520~530	-490~-550
Uçucu Asitler, mg/L CaCO ₃	50-500	>2000
Toplam Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1500-2000	1000-3000
Gaz Oluşumu, m ³ /kg VSS	1.06-1.25	-
Gaz Bileşimi, %CH ₄	65-70	-
Sıcaklık, °C	30-35	-
İnorganik Tuzlar, mg/L		
NH ₄	-	3000
Na ⁺	-	3500-5500
K ⁺	-	2500-4500
Ca ⁺²	-	2500-4500
Mg ⁺²	-	1000-1500

Sıcaklık

Havasız arıtmada başlıca iki sıcaklık aralığı vardır. Bunlar mezofilik (25~40 °C optimum 35 °C) ve termofilik (50~60 °C, optimum 55 °C) sıcaklık kademeleri olarak adlandırılır (Macky ve Bryant, 1981). Sıcaklık havasız arıtmada sınırlayıcı faktör değildir, ancak uygun proses tasarımının seçimini sağlar. Aynı zamanda havasız dönüşüm proseslerinin çeşitli biyolojik ve fiziksel faktörleri üzerinde önemli derecede etkiye sahiptir. Örneğin, biyogaz üretim hızı düşük sıcaklıklarda bir minimuma kadar azalırken, termofilik şartlar altında pik değerlere ulaşabilir (Lier vd., 1997). Ancak 45°C civarında bir sınır ayırt edilir. Bu değerin üzerinde termofilik kademe başlar ve biyogaz üretim hızı 55°C'de maksimum değerine ulaşınca kadar artar. Bu yüzden havasız reaktörler mezofilik kademedede 35±2 °C, termofilik kademedede ise 55 ± 2 °C sıcaklığında işletilir.

Havasız arıtmada sıcaklık etkisi çamur yaşıyla da yakinen ilgilidir. Çamur yaşı arttıkça, havasız sistemler daha düşük sıcaklıklarda da KOİ giderim verimlerini muhafaza edebilir. Dolayısıyla reaktördeki biyokütle miktarı (çamur yaşı) arttıkça sistemin düşük sıcaklık etkilerini dengeleme kapasitesi de artar. Havasız arıtmada sıcaklığın olabildiğince sabit tutulması ve gün içinde 2 °C'den fazla değişmemesi gerekir. Havasız arıtmada sıcaklığın gaz üretimine etkisi Şekil 2.3'de verilmiştir (Price ve Cheremisinoff, 1981).



Şekil 2.3. Havasız Arıtmada Sıcaklığın Gaz Üretimine Etkisi (Price ve Cheremisinoff, 1981)

pH

Metan bakterileri için optimum pH aralığı 6.5-7.5 kabul edilir. Çünkü bu aralık yüksek yükleme şartları nedeniyle asit şokunu önlemeye yardımcı olmak için bir miktar tampon kapasitesi sağlar. Laboratuvar ölçekli deneyler pH 6.0-7.5 aralığının üstünde havasız çamur yataklı reaktörlerde granüler çamurların elde edilebileceğini göstermiştir (Hickey vd., 1991).

Metan üretimi üzerinde pH'ın etkisi, uçucu yağ asiti (UYA) konsantrasyonu ile ilişkilidir. Asit üreten bakteriler düşük pH değerlerine metan bakterilerinden daha yüksek tolerans gösterirler. Pratikte bu metan üretimi düşük pH ile inhibe edildiği zaman, asidifikasyonun hala devam ettiği anlamına gelir. Özellikle düşük tampon kapasiteli bir sistemde aşırı yükleme pH düşüşüne ve metan üreten bakterilerin aktivitesinin azalmasına yol açar. Sonuçta reaktör tamamen başarısız hale gelir. pH 6.0'nın altında metan çürümesi oldukça yavaş gerçekleşir. Bundan dolayı reaktör içerikleri, nihai uçucu yağ asiti birikimini nötralize etmek için yeterli tamponlama kapasitesine sahip olmalıdır. En iyi tampon bikarbonattır.

Atıksuların alkalinitesi havasız reaktörde stabil bir pH'ı sürdürmek için yetersiz ise, alkalinite ilavesine bir alternatif çıkışın geri devri ile asitliğin uzaklaştırılmasıdır. Biyogazdan CO₂'nin adsorpsiyonu ve sonuçta oluşan metanın geri devri de etkili asit uzaklaştırılması için bir alternatiftir, ancak çıkış geri devri ekonomik olarak çok daha caziptir (Haandel, 1994).

Birkaç endüstriyel atıksu, normal olarak gereken seviyede bikarbonat konsantrasyonuna sahiptir. Ancak karbonhidratlar, uçucu yağ asitleri ve lipitler gibi yaygın organik kirleticileri içeren atıksu çoğu zaman alkalinite üretmez. Bu tip atıksular havasız proseslerle arıtıldığı zaman pH kontrolü her zaman gereklidir (Kanat, 1997).

Oksitleyici Maddeler

Havasız arıtmada kararlılığın sağlanabilmesi için ortamda kesinlikle serbest oksijen bulunmamalıdır. Oksijen kimyasal olarak bağlı olsa bile arıtma sürecini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu yüzden NO₃, H₂O₂, SO₄⁻², HS⁻ vb. maddeler havasız arıtma sistemlerinin verimlerinin düşmesine yol açmaktadır.

Havasız ortamda sülfat, sülfat gideren bakteriler tarafından bir elektron alıcı olarak kullanılır. Sülfat gideren bakteriler metan bakterileri ile aynı enerji kaynaklarını (asetik asit ve hidrojeni) kullandıkları için metan bakterileri ile rekabete girerler. Sülfat gideren bakteriler enerjik olarak metan bakterilerinden daha avantajlı olduklarından, metan üretimine doğru olan elektron akışını sülfat giderimine doğru çevirerek metan üretiminin düşmesine yol açarlar.

Sülfat gideren bakteriler, pH ve sıcaklık değişikliklerine daha az hassastırlar. Diğer önemli etkileri ise, ortaya çıkan H_2S 'in yüksek konsantrasyonlarda havasız ortamı inhibe etmesidir. Lin vd. (2001), metan üretimi ve uçucu yağ asitinin ayrışması üzerinde sülfür bileşiklerinin toksik etkisinin sırasıyla $SO_4^{-2} - S > S^{-2} > SO_3^{-2}$ ve $SO_4^{-2} - S > SO_3^{-2} - S > S^{-2}$ olarak değiştiğini gözlemlemişlerdir. Lettinga (1986), 5000 mg/L' den daha az SO_4^{-2} konsantrasyonlarının asetat kullanan metan bakterilerini önemli ölçüde inhibe etmediğini belirtmektedir. Kroiss ve Plahl-Webnegg (1983), ortamdaki serbest H_2S konsantrasyonunun 250 mg/L'ye ulaştığında asetattan CH_4 üretiminin tamamen inhibe edildiğini tespit etmişlerdir. Mc Carty (1964) H_2S , HS^- ve S^{-2} formundaki toplam çözünmüş sülfür konsantrasyonunun 50-100 mg/L olması halinde havasız reaktörlerde önemli bir inhibisyona yol açmadığını ve reaktörün 200 mg/L'ye kadar olan konsantrasyonlara alıştırılabildiğini belirtmektedir (Öztürk, 1999).

Nütrientler, Uçucu Asitler ve Alkalinite

İşletmeye alma sırasında nütreintlerin ve iz elementlerin ilavesi özellikle belli iz elementleri eksik ve KOİ/N/P oranı dengesiz olan atıksular için gerekli olabilir (Henze ve Horremeos, 1983). Biyokütle oluşumunun hızlı olduğu işletmeye alma dönemlerinde KOİ/N/P oranı 300/5/1 ~ 500/5/1 aralığında tutulur. Kararlı işletme hallerinde ise 700/5/1 oranı uygulanabilir (Öztürk, 1999).

Temel elementler yanında Ni, Ca, Fe, Mo, Na, K, Mg, S, Se ve W gibi iz elementler bakteriyel aktiviteyi arttırmak ve yüksek biyokütle konsantrasyonu elde etmek için gereklidir (Murray ve Van den Berg, 1981).

Toplam uçucu asit konsantrasyonu 1000-1500 mg/L'yi (asetikasit) aşmamalıdır, aksi halde organik yükün azaltılması gerekir. Havasız reaktörlerde uçucu asit birikiminin muhtemel sebepleri şunlardır:

- İz element eksikliği
- Zehirlilik etkisi
- Aşırı organik yükleme
- Hidrolik kısa devre
- N veya P yetersizliği
- H₂ kısmi basıncının yüksek oluşu
- Tek kademeli tam karışimli reaktör hali (Öztürk, 1999).

Zararlı Maddeler

Zararlı maddelerin varlığı granülasyonu olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek konsantrasyondaki amonyum ($> 1000 \text{ mg/L NH}_4\text{-N}$) reaktördeki granülasyonu engeller. $\text{pH} = 7.0 - 7.5$ 'da $2000\text{-}3000 \text{ mg/L NH}_4\text{-N}$ 'den fazlası çürümüş çamur ve granüler çamur ile metan üretiminin önemli ölçüde inhibisyonuna neden olur (Salminen ve Rintala, 2002).

Yüksek konsantrasyondaki sodyum ($>5\text{-}10 \text{ g/L}$) çürümüş çamur ve granüler çamurun her ikisinde de asetat kullanan metan bakterilerinin büyümesini engeller (Hickey vd., 1991). Kalsiyum, $200\text{-}300 \text{ mg/L}$ 'nin altındaki konsantrasyonlarda granülasyonu hızlandırmakta, ancak yüksek konsantrasyonlarda CaCO_3 ve CaHPO_4 halinde çökeleceği için reaktörün etkili hacminin azalmasına ve bilhassa fosforu bağladığı için nütrient eksikliğine yol açmaktadır. Kalsiyum yanında, magnezyum ve baryum gibi iki değerlikli katyonlar ve ayrıca fosfor granülasyon oluşumu açısından önem taşır. Kalsiyum ve fosforun granülasyon üzerinde önemli olumsuz etkilerinin olmadığı, buna karşılık Fe, Co ve Ni karışımı iz element formülünün granülasyon oluşumunu önemli ölçüde hızlandırdığı yolunda görüşler vardır (Öztürk, 1999).

Metan üreten HÇYR granülü üzerinde metallerin etkileri; metalin cinsine, çamur tabakalarına, UYA tipine ve hidrolik bekleme süresine bağlıdır. Metallerin relatif toksisitesi $\text{Cu} > \text{Cr} > (\text{Cd} = \text{Zn}) > \text{Ni} >> \text{Pb}$ şeklinde olmaktadır (Lin ve Chen, 1999).

Atıksu içerisindeki yüksek miktardaki askıdaki katı maddeler HÇYR'de çamur granülasyonunu engeller veya çamur yatağının ani olarak yıkanmasına yol açar. Diğer taraftan bu maddelerin reaktörün alt kısmında birikmesi tıkanma ve kanallanmaya yol açtığı için özellikle HÇYR-HF için zararlı olabilmektedir (Fernandez vd., 2001). Bu nedenle atıksu içerisindeki askıdaki katı madde konsantrasyonu KOİ'nin %10'undan

fazla olduğu taktirde ön arıtım uygulanmalıdır (Habets, 1986). Yüksek miktarda askıda katı madde içeren atıksular havasız olarak arıtıldığında organik yük azaltılmalıdır (Lettinga, vd., 1984). KOİ'sinin %50'den fazlası çözünmüş şekilde olan düşük güçteki atıksular için ön arıtım basamağı yapmaktansa, 1-4 kg KOİ /m³-G yüklemede havasız arıtımı kullanmak daha ekonomik olmaktadır.

Ayrıca atıksu içerisindeki yağ-gres konsantrasyonunun fazlalığı (>150 mg/L) granüllerin yüzerek sistemden kaçmasını kolaylaştırmaktadır.

2.4. İşletme

2.4.1. Atığın ön arıtımı

HÇYR prosesi için atıksuyun ön arıtımı sedimentasyon, nötralizasyon ve ön asitleştirmeyi içerebilir.

Mezbaha atığı gibi yüksek askıda katı madde içeren atıksuların havasız çamur yataklı reaktörlerde ön arıtma olmaksızın başarılı arıtılmış olduğuna dair bildiriler olduğu halde, özellikle granüler çamur yatakları olmayan havasız çamur yataklı reaktörler için hala askıdaki katıların ayrılması önerilmektedir. Direkt olarak mezbaha atıksuyuyla beslenen reaktörlerde askıdaki katılar uzaklaştırıldığı taktirde granülasyon gözlenirken, aksi taktirde granülasyon gözlemlenmemiştir. Yatakta inert maddenin birikimi ve aktivitenin kaybı ham atıktan partiküllerin uzaklaştırılmamasıyla ilgili diğer bir dezavantaj olabilir.

Diğer havasız prosesler gibi, atıksu yeterli tampon kapasitesini sağlayamazsa, atıksuyun alkalinite ihtiyacını karşılamak gerekir (Hickey vd., 1991). Alkalinite ihtiyacı çıkış suyu geri devir yaptırılarak karşılanabilmektedir (Haandel, 1994).

Geleneksel HÇYR sistemlerinde düşük düzeylerde karbonhidrat içeren atıklar ön asitleştirme basamağına ihtiyaç duymayabilir. Ancak atıksu yüksek konsantrasyonda karbonhidrat içeriyorsa iki fazlı işletme muhtemelen daha güçlü bir tasarımın sonucudur. Havasız çamurun kabarmasına neden olan uzun filamentli hidroliz yapan fermentasyon bakterileri glukoz ve nişastada pH=7'de daha iyi gelişir; fakat pH<6.0'da büyüme eğiliminde olmaz. Faz ayırıcı, bu organizmaların gelişmesini önleyebilir ve bu

nedenle daha iyi çökelme özellikli ve daha yüksek özgül aktivite düzeyli granüllerin gelişmesine yol açar. Faz ayırıcının diğer avantajı, pH kontrolü ve asidifikasyon tankına seçilmiş aşının ilavesi aracılığıyla fermentasyon ürünlerinin kontrol edilmesidir. Aynı zamanda yüksek metan ve düşük CO₂ içerikli gaz genellikle iki fazlı işletme ile gerçekleşmektedir (Hickey, vd., 1991).

2.4.2. Granüllerin özellikleri

2.4.2.1. Fiziksel ve kimyasal özellikler

HÇYR granüllerinin özgül ağırlığı 1.00-1.08 g/cm³ arasında değişir (Hickey, vd.,1991). Granüllerin yoğunluğu başlangıç aşı maddesi, besi bileşeni ve reaktördeki işletme şartlarını (yani pH, KOİ yükleme oranı, uçucu yağ asidi konsantrasyonu) içeren birkaç faktöre bağlıdır (Elefsiniotis, vd., 1996).

Granüllerin büyüklüğü çap olarak 0.1-8 mm arasında değişir. Granül büyüklüğü mikrobiyal populusyona, besi bileşimi ve reaktördeki biyogaz akış hızına bağlıdır. Granüller genellikle kompleks tabakalı bir yapıya sahiptir (Fang, vd., 1995b). Daha çok filamentli *Methanothrix* içeren granüller, esasen çubuk tipli *Methanothrix* içeren granüllerden daha geniş ölçüde gelişme eğilimindedirler. Normal olarak besindeki çoğu karbonhidratlar büyük ölçüde ve yoğun granüllerin oluşumunu teşvik eder.

Granüller çapları 10-20 µ m arasında değişen birçok deliğe sahiptirler. Bu delikler biyogazın salıverilmesine izin verir ve granüllerin içine nütrientlerin ithal edilmesi için kanal olarak görev yapar.

X ışınları analizleri atomik spektrofotometriye dayanan sonuçlara göre granüllerdeki başlıca katyonlar Na, K, Ca, Mg ve Fe olarak görünmektedir. Fosfor ve sülfür başlıca ametal mineral çökeltilerdir (Hickey vd., 1991).

2.4.2.2. Metabolik aktivite

Granüllerin metabolik aktivitesi analizin amacına göre spesifik metan üretme aktivitesi, spesifik KOİ uzaklaştırma oranları veya besi maddesi dönüşüm oranları ile

ilgili olarak ifade edilebilir. Granüler çamurların metabolik aktivitesi besi bileşimine, büyüme şartlarına, aktivite testi için kullanılan besi maddesinin ve granüllerin bileşimine bağlı olarak değişir. Genellikle spesifik KOİ uzaklaştırma oranı veya arıtılmış atıksudan spesifik metan üretim hızı performansı değerlendirmek için gösterge olarak kullanılır. Kompleks atıksuları arıtan tam kapasiteli HÇYR'den gelen granüller genellikle 0.5 ile 1.0 kg KOİ/kg UKM-G arasında etkinliğe sahiptir (Hickey vd., 1991).

2.4.2.3. Mikrobiyal bileşim ve granül yapısı

HÇYR granüllerinin mikroyapısı besi maddelerinin doğasına ve reaktörün sıcaklığına bağlıdır (Fang vd., 1994). Kompleks besi maddelerinde veya uçucu yağ asidi karışımlarında gelişen granüler çamurların, havasız çürütücülerde tipik olarak bulunan bazı mikrobiyal grupları (yani hidroliz yapan fermentasyon bakterilerini, asetik asit üreten bakterileri, metan bakterileri ve sülfat indirgeyen bakterileri) içerdiği gözlenmiştir. Özellikle asetat kullanan metan bakterileri incelenen bütün granüllerde mevcut başlıca mikrobiyal grup olarak bulunmuştur.

Granüllerdeki toplam hücrelerin %30'undan fazlası *Methanothrix spp*'ye aittir. *Methanothrix* gibi bakterilerin granüllerin yapısını tamamıyla stabilize edebilen bir ağ ve yığın yaptıkları gözlemlenmiştir.

Mezofilik sıcaklık şartları altında uçucu yağ asidi karışımlarında gelişen granüller 3 ayrı tipte sınıflandırılabilir.

- 1) Çubuk tipli granüller: Çoğunlukla çubuk şekilli bakterilerden olan *Methanothrix soehngenii*'den oluşurlar.
- 2) Flament tipli granüller: Uzun çok hücreli çubuk şekilli bakterilerden meydana gelirler.
- 3) Sarkina tipi granüller: Yüksek konsantrasyonda asetik asit reaktörde korunduğu zaman gelişirler.

Son zamanlarda, çubuk şekilli *Methanothrix*'in uzun filamentler gibi gelişebilen *Methanothrix soehngenii*'den farklı bir tür olduğu bildirilmiştir.

Çubuk tipli *Methanobacterium* veya *Methanobrevibacter* gibi bakteriler *Methanospirillum* gibi bakterilerden daha ziyade esasen hidrojen kullanan metan bakterileri olarak farklı kaynaklardan gelen granüllerde bulunurlar.

Duborguier ve Prensier (1988) *Methanobrevibacter spp.*'nin şeker pancarı atıklarını arıtan granüllerde asıl H_2 kullanan metan bakterileri olduğunu bildirmiştir. *Methanobacterium formicicum* uçucu yağ asidi karışımı ile beslenen granüllerde baskın H_2 - CO_2 kullanan metan bakterileri olarak tanımlanmıştır.

Mikrokoloniler veya kümeler nişasta atıksuyunu arıtan granüler çamurlarda gözlenmiştir. *Syntrophobacter spp.* ve *Syntrophomonas spp.* sırasıyla birinci propiyonat ayrıştırıcı ve bütirat ayrıştırıcı olarak tarif edilir. Bu iki syntrophic bakteri granüllerin iç tarafındaki *Methanobrevibacter arboriphilicus* ile mikrokoloni oluşturmuştur (Hickey, vd., 1991).

Bira fabrikası atıksuyunu arıtan granüllerde, granülün dış tabakası koküs, basil, *Methanosarcina* ve *Methanothrix*'i içeren bakterilerin çeşitli tipleriyle yoğun şekilde kaplanmıştır. İkinci tabaka hidrojen üreten asetojenlerle hidrojen tüketen metanojenler arasındaki sintrofik ilişkilerin kanıtını gösteren iki tip mikrokoloni ile *Methanothrix*'den oluşmuştur. Granülün içi ise genelde granülün merkezine doğru kaybolan ve seyrek olan sintrofik birliklerin dağınık mikrokolonileri ile *Methanothrix*'dir (Fang, vd., 1995b).

2.5. İşletmeye Alma ve İşletme Problemleri

Havasız çamur yataklı reaktörlerin başarılı işletmeye alınmasını engelleyen en önemli faktörler, granüler ve yumaklaşmış çamurun yetersiz oluşumuyla bağlantılıdır. Reaktörün işletmeye alınmasını engelleyen bazı tipik faktörler şunlardır:

- Farklı atıksularda yetersiz granül oluşumunun sebepleri çoğunlukla bilinmemektedir.
- Dağılmayı artıran çevresel faktörler çoğunlukla bilinmemektedir.
- Değişen atıksu özelliklerinde granüllerin stabilitesi önceden bilinemez.
- Granül oluşumunu teşvik eden sadece birkaç faktör bilinir.

- Granüler olmayan aşıdan granüler çamurun geliştirilmesi zordur.
- Granül büyüklüğü ve yoğunluğu tamamen kontrol edilemez.
- Reaktörü işletmeye almak için minimum granül miktarı bilinmemektedir.

Havasız çamur yataklı reaktörlerin işletmeye alınmasını etkileyen diğer faktörler, çoğu ülkelerde granüler besi çamurunun elde edilebilmesinin sınırlı olması ve granüler çamurun satın alınmasının ve taşınmasının çok pahalı olmasıdır (Weiland ve Rozzi, 1991).

Havasız çamur yataklı reaktörlerin işletilmesini engelleyen faktörleri şöyle sıralayabiliriz:

- Yatak genişlemesinin kontrolü,
- Değişen besleme şartlarında prosesin kararlılığı,
- Şok yüklemelerde biyokütle alıkonması,
- İnert partiküllerin birikimi,
- Biyokütlenin yüzmesi.

Tam kapasiteli havasız çamur yataklı reaktörlerde gözlenen başlıca problemlerden biri granül yüzmesidir. Reaktör şok bir yüklemeye maruz kaldığı zaman granül yüzmesi meydana gelebilir. Yüzme uzatılan aç bırakma periyodundan sonra granüller tekrar beslenirse de meydana gelebilir.

Havasız çamur yataklı reaktörler sıcaklıktaki değişmelere ve şok yüklemelere karşı oldukça hassastır. Girişteki yüksek katı madde konsantrasyonu da şiddetli çamur uzaklaşmasına ve düşük KOİ uzaklaştırmasına neden olur (Hickey vd., 1991).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Yüksek hızlı havasız sistemler, kentsel ve endüstriyel atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek hızlı havasız sistemler için farklı şekiller vardır. Tipik olanları havasız filtre, havasız çamur yataklı reaktörler ve havasız genleşmiş hibrit reaktör / akışkan yataklı reaktördür (Tay ve Zhang, 2000).

Havasız prosesler, yüksek arıtma verimine sahip olmaları, daha az miktarda atık çamur oluşturmaları, daha az besi maddesine ihtiyaç duymaları, enerji sarfiyatının daha düşük olması, sürekli, kesikli veya mevsimlik çalıştırılabilirmeleri, nihai ürün olan metan gazının yüksek enerji değeri sebebiyle ekonomik kazanç sağlayabilmesi gibi üstünlüklere sahiptir. Buna karşılık, prosesin işletmeye girebilmesi için gerekli sürenin (alıştırma devresinin) çok uzun olması, hassas proses kontrolüne ihtiyaç göstermeleri, oluşan çamurun çökeltme özelliklerinin iyi olmaması gibi özellikle işletmeyle ilgili dezavantajları vardır (Tüfekçi ve Kınacı, 1992).

Havasız atıksu arıtma sistemleri arasında havasız çamur yataklı reaktörler, granüler çamur şeklinde yüksek biyokütleyi alıkoyması ve dolayısıyla yüksek hızlı reaktör performansına izin verdiği için en başarılı havasız sistemlerden biri olarak düşünülmektedir (Yamaguchi vd., 1999). Havasız çamur yataklı reaktörlerin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Yüksek KOİ uzaklaştırma verimi,
- Kısa alıkonma zamanı,
- Düşük enerji ihtiyacı
- Dolgu malzemesine ihtiyaç olmaması,
- Basit reaktör inşaatı,
- Uygulamalarda uzun süreli deneyim (Weiland ve Rozzi, 1991).

Havasız çamur yataklı reaktörler ile diğer sistemlerin organik yük ve verim bakımından mukayesesi Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Havasız arıtma sistemlerinin organik yük ve verim bakımından mukayesesi (Öztürk, 1999).

Reaktör Tipi	Organik yük (kg KOİ/m ³ -G)	KOİ giderme verimi (%)
Havasız Temas Reaktörü	1-6 (3-5)	80-95
Havasız Filtre	1-18 (7-10)	80-95
Havasız Akışkan Yataklı Reaktör	1-60 (15-30)	80-90
Havasız Çamur Yataklı Reaktör	5-15 (10-15)	85-95
Membranlı Havasız Reaktör	1-30 (15)	85-95

(*) Parantez içindeki rakamlar kurulu tesislerdeki uygulanmış yüklerdir.

Havasız arıtım gıda / meşrubat, içki ve ziraat gibi çeşitli endüstrilerden gelen yüksek güçteki atıksuların arıtımı için giderek artan şekilde uygulanmaktadır (Kwong ve Fang, 1996).

Havasız çamur yataklı reaktörler (HÇYR), başlangıçta çözünmüş organik kirleticiler ihtiva eden orta ve yüksek seviyede kirli atıksuların arıtımında yararlanmak üzere geliştirilmekle birlikte, günümüzde kompleks atıkların düşük ve mezofilik sıcaklıklarda arıtılmasında da başarı ile kullanılmaktadır (Öztürk, 1999). Havasız çamur yataklı reaktörler, içerisinde önemli miktarda askıda ve zararlı maddeler ihtiva eden kağıt, mezbaha ve et ürünleri, süt ürünleri ve boyalı tekstil atıksuları gibi pek çok sanayi kolu için de yüksek hızlı ön arıtma ve biyoenerji geri kazanma uygulamalarında başarı ile tatbik edilmektedir. Havasız çamur yataklı reaktörlerle endüstriyel atıksuların arıtılması ile ilgili çalışmaların geniş bir özeti Tablo 3.2’de verilmektedir.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde, organik askıda partiküller atıksuyun etkili arıtımını sık sık engeller (Annachhatre ve Amatya, 2000). Askıda partiküller, çamur granülasyonunu engeller, çamurun metan üretme aktivitesini bozabilir ve birçok sınır durumunda reaktör içeriğinin aniden asitleşmesine neden olabilir veya çamur yatağının aniden yıkanmasına yol açabilir. Havasız çamur yataklı reaktörlerde AKM’lerin bu potansiyel olumsuz etkilerini önlemek için, Lettinga ve Hulshoff Pol (1991), AKM uzaklaştırmak için önarıtım çökeltme sisteminin tesis edilmesini veya 2-8 g KOİ/L-G hacimsel yükleme hızında sınırlamayı ileri sürmüştür. Souza (1986) diğer taraftan atıksudaki AKM’yi 1000 mg/L’nin altında ve AKM/KOİ oranını 0.5’in altında sınırlamayı ileri sürmüştür. Diğer araştırmacılar faz ayırımını ve ön asitleştirmeyi ileri sürmüşlerdir (Kwong ve Fang, 1996).

Tablo 3.2.HÇYR'lerin Endüstriyel Atıksu Arıtımındaki Uygulamaları İle İlgili Çalışmalar (Öztürk, 1999)

Atıksu tipi	Girişteki KOİ değeri, mg/L	Lv, kg KOİ/m ³ -gün	Sıcaklık, °C	Hidrolik bekleme süresi, h	KOİ giderimi, %	CH ₄ üretimi
Kağıt hamuru	7000-4000	1.26-5.49	35	20-90	82	0.318 m ³ /kg giderilen KOİ
Sükrozlu atıksu	3000	17-12.8	30	14	80.95	0.64 kg CH ₄ /kg UKM-gün
Pancar şekeri	5100-7000	18	35	8	95	-
Bira sanayi	1000-1500	4.5-7	20-24	5	75-80	0.25 m ³ /kg giderilen KOİ
Depo sızıntı suyu	29000-53000	5.7-10.7	20-30	127-125	66-59	-
Gübre atıkları	11000	2-5	30	48	70-65	0.58 m ³ /kg giderilen KOİ
Mezbaha atıkları	2500-3500	4	30	19	85	0.9 m ³ /m ³ atıksu
Rafineri+şeker atığı	2040-5030	0.9-2.6	-	30	80	0.3 kg/kg giderilen KOİ
Süt ürünleri sanayi	4000	7.5-15	30	6-16	-	3000 m ³ /gün
Bira sanayi	1500-4000	20-30	35	-	85-95	-
İçki sanayi	54600	3.9	35	-	77-83	-
Mezbaha atıkları	1500-2200 1500-2200	10 6	30 20	-	87-91	-
Kağıt sanayi	1000	5	-	4.9	75	-
Çiftlik atıkları	3800-9500	4 2	30 25	-	93 90	-
Şeker endüstrisi	4000-60000	20-25	28.32	-	92.95	-
Mevsimlik şeker üretimi	3500-4000	30-32	28-32	-	95-80	-
Patates işleme atıkları	2000-5000	3-5	19-26	-	95	-
Asetik+propiyonik vs. asit+sükrozlu atıksu	-	35	55	5.7	84.5	%82.9
Asetat+bira mayası	-	16	55	2.1	98.9	%91.5
Ambalaj kağıdı	2880	9	35	7.7	70	-
Karton	20000	12.5	35	4.1	65	-

Havasız çamur yataklı reaktörlerle yüksek oranda AKM ihtiva eden endüstriyel atıksuların arıtımında uyulması gereken kriterler Tablo 3.3'de özetlenmiştir. Ortalama 25 kg UAKM/m³ çamur konsantrasyonunu içeren granüler çamurlu HÇYR'lerde işletme sıcaklığına bağlı olarak uygulanabilir hacimsel organik yükleme hızları ise Tablo 3.4'de verilmiştir (Lettinga ve Hulshoff Pol, 1991).

Havasız çamur yataklı reaktörlerde, atıksuyun nitelik ve niceliğindeki değişiklikler, geri devir oranı ayarlanarak düzeltilebilir. Geri devir, atıksu ve granüler çamur arasındaki teması geliştirir, yüksek güçteki/toksik atıksuların seyrelmesine yardım eder, organik maddelerin biyolojik ayrışması için besin maddesi transferini artırır ve reaktörde alıkonan daha ağır çamur partiküllerini ayırır. Aynı zamanda kuvvetli çözünabilir atıksuyun arıtımında mikroorganizmalar üzerindeki toksik etkiyi azaltmaya yardımcı olur. Orta ve yüksek kuvvetli atıksuların HÇYR prosesi ile arıtımı süresince doğal türbülans yüksek biyogaz üretimi ile sağlanır. Bu türbülansa rağmen, çıkış geri devri hala havasız çamur yataklı reaktörlerde alıkonan biyokütleyi etkileyen önemli bir faktördür (Lay ve Cheng, 1998).

Tablo 3.3. Atıksuyun Kuvvetine ve Atıksudaki Çözünmeyen KOİ Oranına Bağlı Olarak HÇYR'lerde Uygulanabilir Yüzey Yükleri (Lettinga ve Hulshoff Pol, 1991)

Atıksudaki toplam KOİ (mg/L)	Çözünmemiş KOİ oranı (%)	Uygulanabilir hacimsel yük (kg KOİ/m ³ -G)		
		Floküler çamurlu HÇYR	Granüler çamurlu HÇYR	
			Sınırlı AKM giderimi	Önemli oranda AKM giderimi
<2000	10-30	2-4	8-12	2-4
	30-60	2-4	8-14	2-4
	60-100	*	*	*
2000-6000	10-30	3-5	12-18	3-5
	30-60	4-6	12-24	2-6
	60-100	4-8	*	2-6
6000-9000	10-30	4-6	15-20	4-6
	30-60	5-7	15-24	3-7
	60-100	6-8	*	3-8
9000-18000	10-30	5-8	15-24	4-6
	30-60	**	**	3-7
	60-100	*	*	3-7

* : bu şartlar altında HÇYR uygulanması hassas değildir.

** : toplam AKM > 6000-8000 mg/L olduğunda belirsiz

Tablo 3.4. Granüler Çamurlu HÇYR'lerde İşletme Sıcaklığına Bağlı Olarak Uygulanabilir Hacimsel Organik Yükleme Hızları (Lettinga ve Hulshoff Pol, 1991)

Hacimsel Organik Yük (kg KOİ /m ³ -G)				
Sıcaklık °C	Uçucu Yağ Asitli	Uçucu Yağ Asitsiz	%30 AKM/KOİ	
15	2-4	1.5-3	1.5-2	(Yeterli AKM giderimi)
20	4-6	2-4	2-3	(Yeterli AKM giderimi)
25	6-12	4-8	3-6	(makul AKM giderimi)
30	10-18	8-12	6-9	(orta seviyede AKM giderimi)
35	15-24	12-18	9-14	(nisbeten az AKM giderimi)
40	20-32	15-24	14-18	(düşük AKM giderimi)

Endüstriyel atıksular için, reaktör büyüklüğünü belirleyen kritik faktör, biyolojik olarak ayrışabilen KOİ bazındaki organik yükleme hızıdır (Toprak, 1996). Bu organik yükleme, çamur aktivitesine bağlıdır ve bu nedenle sıcaklık ve kirleticilerin doğası ve bileşimi, çamur konsantrasyonu, besin dağıtma sistemi (yani temasın derecesi) ve istenen emniyet faktöründeki çeşitli kirletme fraksiyonları için izlenen arıtma verimine bağlıdır (Lettinga ve Hulshoff Pol, 1991).

Fang ve Chui (1994), yüksek güçteki atıksuların arıtımında dört havasız prosesin işletmeye alma performanslarını karşılaştırmışlardır. Araştırmada (a) havasız çamur yataklı reaktör, (b) havasız çamur yataklı reaktör – havasız filtre, (c) akışkan yatak ve (d) genişlemiş yatak reaktörleri kullanılmıştır. Reaktörler yerel kentsel atıksu arıtma tesisinin havasız çürütücüsünden gelen çamurla aşılanmış, dengeli nütrientler ve iz elementlerle süt ve sakarozdan oluşan sentetik atıksu ile test edilmiştir. Hacimsel KOİ yüklemesi 0.5-1 g/L-G değerinden 70 G sonra 20 g/L-G değerine tedrici olarak artırılmıştır. İşletmeye alma periyodu boyunca atıksudaki KOİ seviyeleri başlangıçtaki 500 –1000 mg/L değerinden 6500 mg/L değerine tedrici olarak artırılmıştır, hidrolik bekleme süresi 24-48 saatten 8 saate düşürülmüştür. Alıştırmadan sonra 4 reaktör yaklaşık olarak 20 g/L-G yükleme hızında ve üç farklı KOİ seviyesi (6000, 4000, 2600 mg/L) ve hidrolik bekleme süresinde (8, 5.7, 3 saat) test edilmiştir. Havasız reaktörde KOİ uzaklaştırma yüzdesinin esas olarak hacimsel KOİ yükleme hızına bağlı olduğu, atıksudaki KOİ düzeyine ve hidrolik bekleme süresine karşı duyarsız olduğu meydana çıkmıştır. 20 g/L-G KOİ yükleme hızında KOİ indirgemesi,

HÇYR ve hibrit reaktör için yaklaşık % 95 olmuş, ancak akışkan yataklı ve genleşmiş yataklı reaktörler için % 80 olmuştur.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde maksimum KOİ yükleme kapasitesini incelemek amacıyla, süt ve sakarozdan oluşan yüksek güçteki sentetik atıksu 8.5 L hacimli üç adet reaktörde 37°C'de arıtılmıştır. Hidrolik bekleme süresi (1.8-10 saat) ve atıksuyun KOİ seviyesi (6000-20000 mg/L) değiştirilerek geniş bir aralıkta KOİ yükleme hızı incelenmiştir. Atıksudaki KOİ 12000 mg/L ve hidrolik alıkonma süresi 1.8 saat olduğu zaman 160 g/L-G'e kadar KOİ yükleme hızında çözünebilir KOİ'nin % 94-98'i, toplam KOİ'nin ise % 75-90'ı uzaklaştırılmıştır. 160 g/L-G'den daha fazla yükleme hızlarında üretilen biyogazın güçlü karıştırma etkisi sonucu çamur dağılması ve yıkanması nedeniyle KOİ uzaklaştırma verimi kötüye gitmiştir (Fang ve Chui, 1993).

Artan şekilde KOİ konsantrasyonuna maruz bırakılan 10.5 L hacimli HÇYR'de kinetik çalışmalar yapılmıştır. Reaktör 10 ay boyunca sürekli olarak işletilmiş ve glukoz, amonyum asetat, metanol ve nütrient çözeltisini kullanan, günlük olarak hazırlanan sentetik atıklarla beslenmiştir. 16 L/G akış hızı ve 15.6 saat hidrolik bekleme süresine karşılık çalışma boyunca sabit tutulmuştur. Giriş ve çıkışın dışında arada bulunan dört tane musluktan alınan numunelerde yapılan analizler, dikey profil boyunca reaktörün davranışı ile ilgili çalışmaya izin vermiştir. 2.7-14.8 kg KOİ/m³-G hacimsel yükleme hızlarına karşılık, 1780'den 9700 mg/L'ye değişen başlangıç KOİ konsantrasyonlarının ortalama değerleri için % 98'den 90'a değişen KOİ uzaklaştırma verimleri elde edilmiştir. Giriş KOİ'sinin artış derecesinin reaktör performansını iki yönden etkilediği sonucuna varılmıştır. Birincisi, reaktör işletme parametrelerindeki değişiklikleri takip eden kısa süreli periyotlar dışında giriş KOİ'si ve hacimsel yükleme hızının artışından dolayı meydana gelen şok yükleri asimile edebilmiştir. İkincisi, kapsamlı verim giriş KOİ'si ve hacimsel yükleme hızlarının artışıyla giderek azalmıştır. Kinetik çalışmalar giriş KOİ konsantrasyonlarının artış derecesi ile tüm kinetik parametrelerin muhtemelen etkilendiğini göstermiştir (Paula ve Foresti, 1992).

Morval vd. (1991) yüksek organik madde kirleticileri içeren (KOİ aralığı: 3-50 kg/m³) endüstriyel atıksuların birkaçının laboratuvar ölçekli (1.2-23 dm³) HÇYR ve HÇYR-sabit yataklı hibrit reaktörlerde artırımını incelemişlerdir. Çoğu durumda %80'den fazla KOİ uzaklaştırma verimi elde edilmiştir. Oluşan biyogazın CO₂ içeriği

esasen besin pH'ına bağılı olarak nötralizasyon (baz-asit) oranı ile etkilenmiştir. Granül oluşumu ile hücre tutuklanması mikrobiyal popülasyonda bir değişim olarak düşünülmüştür: *Methanothrix* gibi filamentli mikroorganizmaların artması ve birikmesi. Mikrobiyal seçimin fizyolojik ve fiziksel indekslerine dayanarak ve besi maddesi engellemesine mikroorganizmaların farklı hassaslıkları ile ilgili olarak, ham çürümüş çamurun hızlı (40-45 G) granülasyonu için yeni bir işletmeye alma metodu geliştirilmiştir.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde AKM'lerin olumsuz etkilerini gidermek amacıyla, yapılan çalışmada nişasta endüstrisi atıksuyundaki AKM'ler basit çökeltme ile uzaklaştırıldıktan sonra reaktöre verilmiştir. 16 kg KOİ/m³-G organik yükleme hızında %95'ten fazla KOİ uzaklaştırma verimi elde edilmiştir. Çıkıştaki uçucu yağ asiti konsantrasyonları, 8 m³/m³-G gaz üretimi elde edildiği zaman <200 mg/L'de kalmıştır. Bu sonuçlar basit çökeltme ile nişasta atıksuyundan nişasta katı maddelerinin uzaklaştırılmasının HÇYR prosesinin memnun edici performansını elde etmek için yeterli olduğunu göstermiştir (Annachatre ve Amatya, 2000).

Manjunath vd. (2000) mezbaha atıksularının arıtımında havasız çamur yataklı reaktör (HÇYR) ile HÇYR-çözünmüş hava flotasyonunu (CHF) uygulamışlardır. HÇYR ile 3.5 kg KOİ/m³-G organik yükleme hızında % 70 KOİ giderme verimi elde edilirken CH₄ üretimi 280 ml/g KOİ olmuştur. Oysa HÇYR- CHF sisteminde 4.0 kg KOİ/m³-G organik yükleme hızında % 90 verim elde edilmiş ve CH₄ üretimi 340 ml/g KOİ olmuştur.

Havasız çamur yataklı reaktörlerin stabilitesi üzerinde atıksu bileşiminin etkileri asetat, sakaroz ve dondurmada oluşan 3 tip atıksuyu kullanan reaktörde incelenmiştir. Deneysel çalışmalar, atıksuyun karbon kaynağındaki değişikliklerin, besleyici granüler çamurun fiziksel yapısı ve bakteriyel dağılımında tedrici değişikliklere yol açtığını, bu değişikliğin belirli şartlarda granüler çamurun dağılması veya yüzmesiyle sonuçlandığını göstermiştir. Böyle değişimlerin hızının nispeten yavaş olduğu ve çamur yükleme hızına bağılı olduğu bulunmuştur (Yang ve Anderson, 1993).

Havasız arıtım genellikle fosfat, amonyak ve sülfite gidermeyen, sadece biyolojik olarak ayrışabilen organik madde için verimli olmaktadır. Bu nedenle çıkış deşarjı için konulan sınırlamalara bağılı olarak, dağılmış katıları içeren bu bileşikler ve artakalan

organik kirleticileri uzaklaştırmak için bazı uygun son arıtım metodları uygulanmak zorundadır. Amonyak için yaygın olarak bir nitrifikasyon basamağı veya birleştirilmiş bir nitrifikasyon / denitrifikasyon prosesi kurulabilir, ancak yine de yüksek amonyak konsantrasyonlarında (yaklaşık olarak 2-3 mg/L'den fazla) amonyağın geri kazanılması metodunun uygulanması kaynağı koruma açısından NH_4^+ yok edilmesi metodundan çok daha cazip olabilir. Sülfitin uzaklaştırılması için yeni bir proses, *Throbacillus* ve diğer bakteriyel topluluklar kullanılarak, sülfid elementer sülfüre dönüştürülerek geliştirilir (Buisman vd., 1989).

Yüksek miktarda organik madde içeren atıksuların iki kademeli (havasız-havalı) sistemlerle arıtımı, dünyada ve ülkemizde son yıllarda yaygın olarak yapılan bir uygulamadır. Bu amaçla yapılan bir çalışmada 3000-30000 mg/L KOİ'ye sahip olan ekmek mayası üretimi atıksuları kullanılmıştır. Birinci kademedeki kullanılan havasız arıtma sistemi faz ayırımı bulunan ve kendi içinde iki kademeli bir tesistir. Havasız reaktörler yukarı akışlı çamur yatağı tarzında inşa edilmiştir. İkinci kademeyi teşkil eden havalı sistem ise uzun havalandırmalı aktif çamur prosesidir. Havasız sistemin ortalama hacimsel organik yükleri asit, 1. metan ve 2. metan reaktörlerinde sırası ile 9.8, 8.6 ve 3.0 kg KOİ/m³-G olmuştur. Bu organik yüklemeler altında havasız sistemde genelde %70'lik bir KOİ giderimi sağlanmıştır. Havasız arıtmanın verimi zaman zaman %80'lere kadar yükselmiştir. Havalı arıtmada ise uzun havalandırmalı aktif çamur havuzunda ortalama çamur yükü 0.40 kg KOİ/kg AKM olmuştur. Bu yükler altında ve ortalama 10 saatlik hidrolik bekleme süresinde KOİ giderme verimi %75-90 aralığında değişmiş, ortalama değer % 82 olmuştur (Öztürk vd., 1993).

Havasız çamur yataklı reaktörler, yüksek güçteki çözünebilir toksik atıksuların arıtımı için de uygun bir alternatif olmaktadır. Çıkış geri devir hızının değiştirilmesi mikroorganizmalar üzerindeki toksik etkiyi azaltmada yaygın bir yaklaşımdır. Ne yazık ki, bununla birlikte biyokütle /granüler çamurun bir kısmı çıkış geri devri ve biyogaz üretiminden kaynaklanan yüksek yüzeysel yukarı akış hızından dolayı reaktörden yıkanır. (Lay ve Cheng, 1998).

Yüksek KOİ'ye sahip olan (4270 ±141-55100±283 mg/L) peynir altı suyunun arıtımında tek basamaklı havasız çamur yataklı reaktörün kullanılmasının çok verimli ve çok ekonomik bir metod olduğu bulunmuştur. Peynir altı suyundan havasız metan

üretimi 424 ml CH₄/gKOİ veya 23.4 L CH₄ / L peynir altı suyu olmuştur. 2-3 saat gibi düşük hidrolik bekleme sürelerinde % 95-97 KOİ uzaklaştırması elde edilmiştir. İki basamaklı havasız çamur yataklı reaktör ise sadece küçük ilave KOİ uzaklaştırması (%27.2-59.6) sağlamıştır. Bununla birlikte bu verim daha uzun hidrolik bekleme süresi kullanılır ve/veya çıkış geri devri uygulanırsa muhtemelen arttırılabilir (Ergüder vd., 2001).

Havasız arıtma sistemlerinde karşılaşılan sorunları gidermek amacıyla hibrit reaktörler geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak havasız filtre ve havasız çamur yataklı reaktörlerin birleşimi gösterilebilir. Özellikle zayıf çökelme özelliğine sahip çamurlar mevcut olduğunda biyokütle alıkonması ile ilgili olarak havasız filtre (HF) ve havasız çamur yataklı reaktörlerin (HÇYR) temel avantajlarının birleştirilmesi ilginç bir teknoloji olarak görünmektedir. Bu yöntemle, tıkanma ve biyokütle yüzmesi gibi bu sistemlerin temel problemleri en aza indirilebilir. Böylece granül ve biyofilm olarak alıkonan biyokütleli olgun çürütücü, daha kısa zaman periyotlarında elde edilebilmektedir (Fernandez vd., 2001).

Havasız çamur yataklı reaktörler (HÇYR) sürekli veya kesikli olarak işletilebilmektedir. Kentsel katı atık depolama tesisinden gelen sızıntı suyunun arıtımında sürekli HÇYR ve ardışık kesikli HÇYR kullanıldığında düşük ve orta organik yüklemelerde her iki reaktörün performansının çok benzer olduğu görülmüştür. Ardışık kesikli HÇYR, 0.6 ve 18.4 g KOİ/ L-G organik yükleme hızlarında üç hidrolik bekleme süresi (24, 18 ve 12 saat) için % 71 ve % 92 arasında KOİ uzaklaştırma verimi sağlamıştır. Sürekli HÇYR ise 1.2 ve 19.7 g KOİ/L-G organik yükleme hızlarında ve benzer hidrolik bekleme sürelerinde % 77 ve % 91 arasında KOİ uzaklaştırma verimi sağlamıştır. Daha yüksek organik yükleme hızlarında sürekli HÇYR ardışık kesikli HÇYR'den daha iyi performans göstermiştir. Ardışık kesikli HÇYR biyogaz üretiminde azalma, uçucu yağ asiti (UYA) birikimi ve KOİ uzaklaştırma verimindeki azalma ile karakterize edilen sistem başarısızlığın ilk işaretlerini göstermiştir (Kennedy ve Lentz, 2000).

Havasız çamur yataklı reaktörler bazı hallerde yüzeysel sulara deşarj kriterlerini sağlayamamaktadır. Bu nedenle reaktör çıkışına azot ve fosforu uzaklaştıracak ilave sistemler tesis edilir. Villaverde vd. (2001) yüksek miktarda azot (1200 mg/L TKN) ve

organik madde (2000 mg/L KOİ) içeren HÇYR çıkışında toplam azotu uzaklaştırmak için kısa devirli havalandırmalı klasik aktif çamur reaktörünü kullanmışlardır. Bu çalışma boyunca elde edilen sonuçlar, ilk olarak test edilen teknolojinin uygulanabilir olduğunu ve klasik aktif çamur prosesleriyle karşılaştırıldığı zaman işletme ve bakım masrafını önemli ölçüde azaltabildiğini göstermiştir. HÇYR'nin çıkışının arıtımında %66'ya kadar toplam azot uzaklaştırma verimi elde edilmiştir. Kısa süreli havalandırma nitrifikasyon için oksijen teminine ve denitrifikasyon için atıksudaki organik karbon içeriğinin daha verimli kullanılmasına müsaade etmiştir.

Yüksek güçteki endüstriyel atıksudan organik madde ve azotu gidermek için yapılan diğer bir çalışmada havasız/havalı birleştirilmiş sistem kullanılmıştır. 10.4 g/L KOİ ve 790 mg/L TKN içeren atıksuyu arıtmak amacıyla kullanılan sistem HÇYR ve yukarı akışlı biyolojik havalandırmalı filtreden oluşmaktadır. Denitrifikasyon için HÇYR içine yukarı akışlı biyolojik havalandırmalı filtre çıkışının geri devir hattı yerleştirilmiştir. En iyi sonuçlar hidrolik bekleme süreleri HÇYR için 3.3 gün ve yukarı akışlı biyolojik havalandırmalı filtre için 1.3 gün ve geri devir oranı 6.7 olduğu zaman elde edilmiştir. Bu şartlarda sistem, giren organik maddenin ve amonyağın % 98'ini toplam azotun ise % 91'ini uzaklaştırmıştır (Lacalle vd., 2001).

Havasız çamur yataklı reaktörlerde karşılaşılan başlıca sorunlardan biri granül yüzmesidir. Granül yüzmesi, yüksek organik yüklemelerde meydana gelir ve havasız çamur yataklı reaktörlerde aktif granül kaybına ve arıtma veriminde azalmalara yol açar. Granüllerin kendi oyuklarının içinde yakalanan gaz kabarcıkları tarafından oluşturulan yüzme kuvvetinden dolayı yüzdüğü bulunmuştur. Granül yüzmesini önlemek için yüzen granüllerin mekanik aygıtlarla ezilmesi ve reaktörlere Fe dozlaması önerilmiştir. Bu metod laboratuvar ölçekli deney serilerinde değerlendirilmiş ve tam kapasiteli havasız çamur yataklı reaktörlerde kullanımının etkili ve pratik olduğu kanıtlanmıştır (Yoda ve Nishimura, 1997).

4. MATERİYAL VE METOD

4.1. Deney Düzenegi

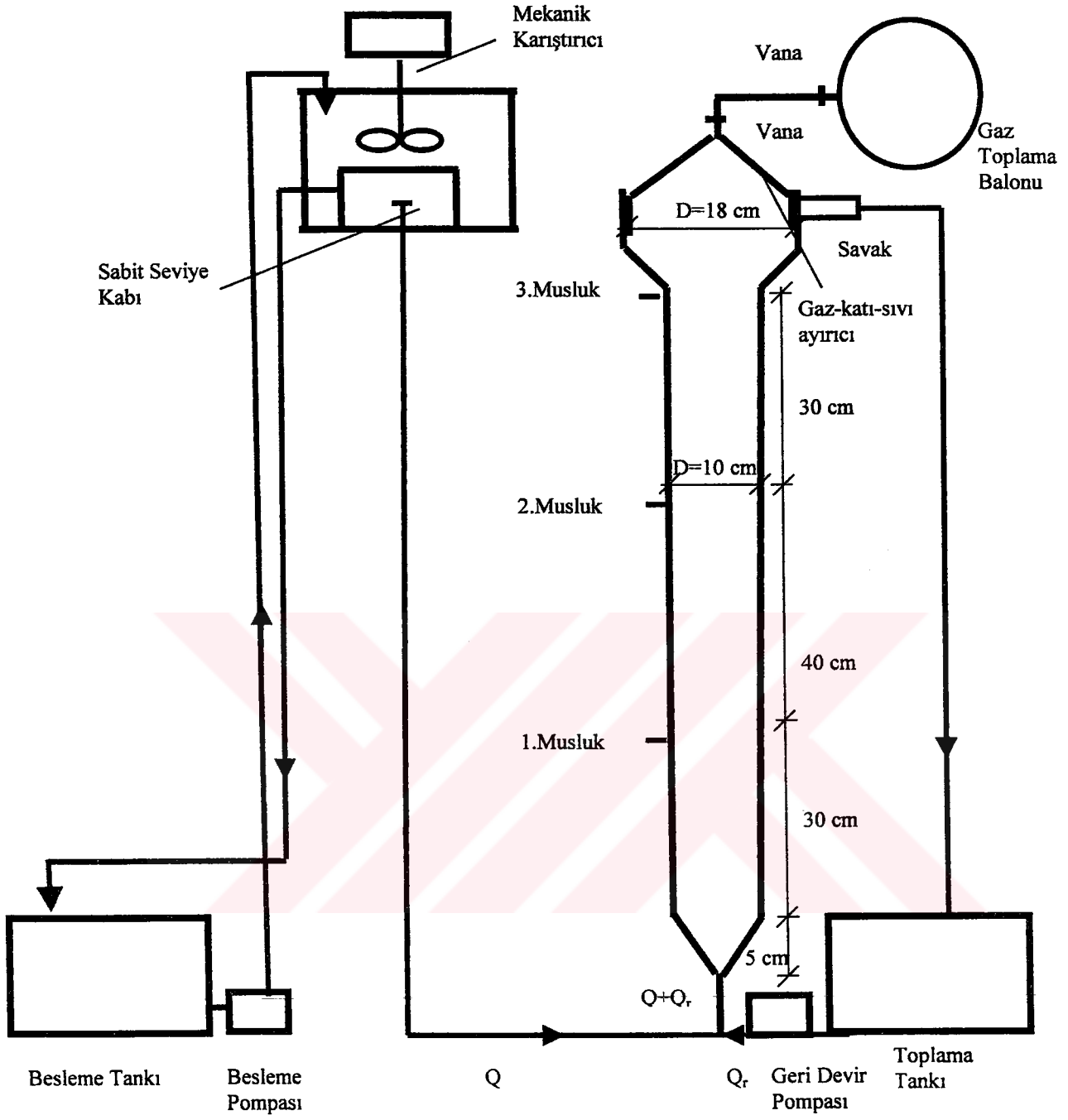
Bu çalışmada 10 L hacimli fiberglas malzemeden yapılmış aynı boyutlarda 2 adet pilot ölçekli reaktör kullanılmıştır. Reaktörlerin alt kısmı 105 cm yükseklikte ve 10 cm çapında, üst kısmı ise 18 cm yükseklikte ve 18 cm çapındadır. Reaktörler boyunca 30, 40, 30 cm aralıkla numune alma muslukları, üst kısımlarına ise gaz-katı-sıvı ayırıcısı yerleştirilmiştir. Gaz-katı-sıvı ayırıcısının hacmi 0.7 L'dir. Reaktörler sıcaklığı 37 °C olan bir odada tutulmuş ve sıcaklık sabit kalmıştır.

Çalışmada kullanılan deneysel düzenek Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Hazırlanan atıksu alttaki besleme tankından pompa vasıtasıyla çekilerek üstteki tanka, oradan sabit seviye kabına basılmış ve reaktörlere alt kısımlarından verilmiştir. Deneyler esnasında debi ayarları, tanklara yerleştirilen ayar vanaları yardımı ile yapılmıştır. Debiler kronometre ve ölçülü kaplar vasıtasıyla ölçülmüştür. Her bir debi için, rejim halinin teşekkülü amacıyla yaklaşık yarım saat su akıtılmış ve birkaç kez okuma yapılarak debinin değişmediği tespit edilmiştir.

Üstteki tankta çalışma esnasında su seviyesi sabit kalmayacağı için tankın önüne sabit seviye kabı konulmuştur. Tanktan gelen su hortum vasıtasıyla sabit seviye kabına alınmıştır. Sabit seviye kabına tanktan gelen su miktarı ve reaktöre giden debi ayarlandıktan sonra fazla su besleme tankına geri gönderilmiştir. Bu sayede oluşan su hareketi ile besleme tankının muhtevasının karışması da mümkün olmuştur. Ayrıca besleme tankı ve sabit seviye kabında bulunan atıksu belirli aralıklarla karıştırılarak tabanda çökelme olması önlenmiştir.

Üstteki tankı elle karıştırmak yükseklik nedeniyle mümkün olmadığı için karıştırma işlemi mekanik karıştırıcı vasıtasıyla yapılmıştır. Tank muhtevası sürekli olarak karıştırılmıştır. Pompadan üstteki tanka gelen suyun hareketiyle tank muhtevasının bir miktar karışması mümkün olmuşsa da, bu hareket tek başına çökelmenin önüne geçemediği için mekanik karıştırıcı kullanılması uygun görülmüştür.

Hazırlanan atıksu pompa vasıtasıyla çekilerek, reaktörlere alt kısımlarından verilmiştir. Reaktörlerin tahliye borularının alt kısmına savak yerleştirilmiştir. Sistemden çıkan biyokütle ve çökebilir maddelerin bir kısmı savak tabanında

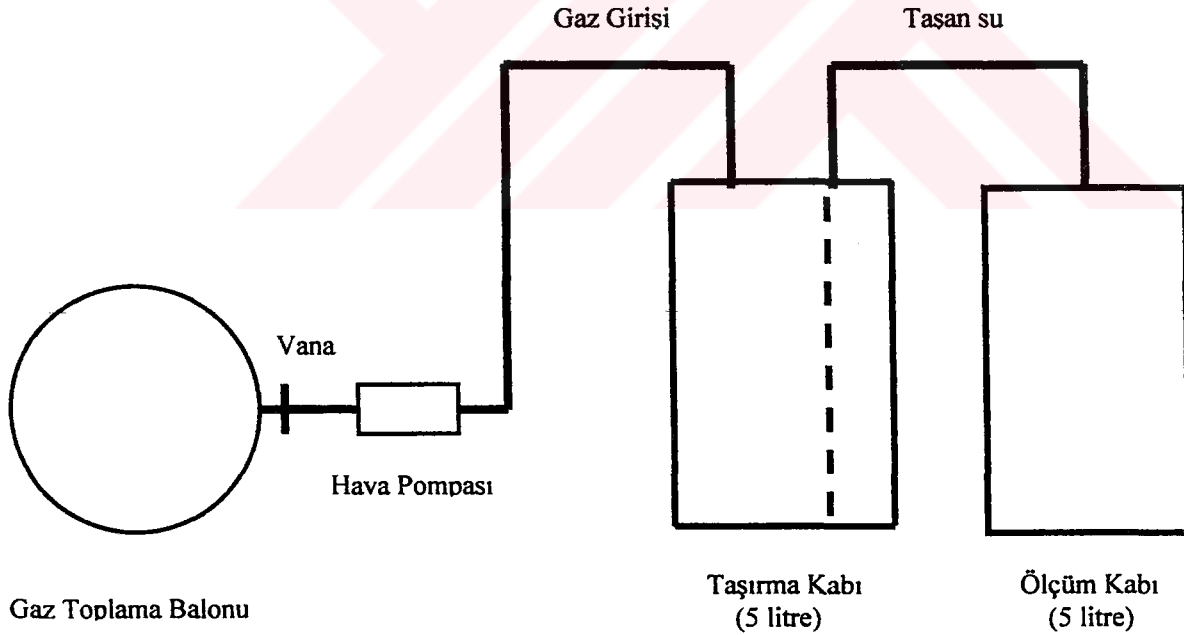


Şekil 4.1. Çalışmada Kullanılan Deney Düzenegi

birikmiştir. Sistemde bulunan hortum ve borular belirli aralıklarla temizlenerek, sistemde oluşabilecek tıkanmaların önüne geçilmiştir. Savak tabanında biriken maddeler alınarak, çıkışa fazla miktarda katı girmesi önlenmiştir.

Reaktörlerde oluşan gaz karışımını toplamak amacıyla gaz vanasının ucuna gaz toplama balonları bağlanmıştır. Balonların giriş ve çıkışlarına vanalar yerleştirilmiştir. Balonlarda biriken gazın miktarını belirlemek amacıyla, reaktörden balona gelen gaz hortumu üzerindeki vanalar kapatılarak balon hortumundan çıkarılmıştır.

Reaktörlerde toplanan gaz miktarı, Şekil 4.2’de gösterilen gaz ölçüm düzeneği ile belirlenmiştir. Gaz toplama balonunun ucu hava pompasına takılmıştır. Hava pompasının diğer ucu taşıma kabının içine bağlanmıştır. Taşıma kabının üstü kapalı tutulmuştur ve içi pH’ı 4.5’a ayarlanmış olan su ile doldurulmuştur. Bu pH’da CO₂ doymun hale gelmektedir. Taşıma kabından taşan su, hacmi belirli olan bir ölçüm kabında toplanmıştır. Ölçüm kabında toplanan suyun hacmi balondaki gaz hacmine eşittir.



Şekil 4.2. Çalışmada Kullanılan Gaz Ölçüm Düzeneği

Çalışmada sentetik atıksu kullanılmıştır. Sentetik atıksu yüksek miktarda organik madde içermekle birlikte, aynı zamanda mikroorganizmaların ihtiyaç duydukları temel elementler ile iz elementleri de ihtiva etmektedir. Sentetik atıksuyun bileşimi Tablo 4.1’de verilmiştir.

Reaktörlerde granülasyonu sağlamak amacıyla Adana’da kurulu bulunan Güney Biracılık Fabrikası’ndaki havasız reaktörden alınan çamur, aşı olarak kullanılmıştır. Aşının özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Aşı reaktöre doldurulduktan sonra sentetik atıksu sisteme verilmiş ve sentetik atıksu alıştırmaya devresi boyunca devrettirilmiştir.

Tablo 4.1. Sentetik Atıksuyun Bileşimi (Tay ve Yang, 1997)

Bileşenler	Konsantrasyon (mg/L)
(a) Temel bileşenler	
Glukoz	7000
Bakteriyolojik pepton	800
Et ekstraktı	500
NaHCO ₃	1500-2500
NH ₄ Cl	200
KH ₂ PO ₄	45
CaCl ₂ .2H ₂ O	300
MgSO ₄ .7H ₂ O	25
FeSO ₄ .7H ₂ O	20
Na ₂ S.7H ₂ O	45
(b) İz elementler	
H ₃ BO ₃	0.05
ZnCl ₂	0.05
CuCl ₂	0.03
MnSO ₄ .H ₂ O	0.50
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0.05
AlCl ₃	0.05
CoCl ₂ .6H ₂ O	0.05
NiCl ₂	0.05

Alıştırma devresi ve işletme süresince farklı debi ve farklı organik yüklemelerde, reaktörlerin giriş ve çıkışından numune alınarak pH, Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Katı Madde (TKM), Askıda Katı Madde (AKM), Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), Toplam Fosfor (TP) ve alkalinite analizleri yapılmıştır. Ayrıca reaktör boyunca yerleştirilen numune alma musluklarından alınan numunelerde de pH, alkalinite, toplam askıda katı madde (TAKM) ve uçucu askıda katı madde (UAKM) analizleri yapılmıştır.

Tablo 4.2. Çalışmada Kullanılan Aşı Çamurunun Özellikleri

Parametre	Konsantrasyon
PH	6.87
KOİ (mg/L)	8800
TKN (mg/L)	97.44
TP (mg/L)	132.52
Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	1650
TKM (mg/L)	11602
UKM (mg/L)	6263
AKM (mg/L)	5072

4.2. Yapılan Analizler ve Analiz Metodları

Atıksuların pH'ı ORION marka pH-metre ile düzenli olarak ölçülmüştür. Atıksu numunelerinde KOİ, TKN ve alkalinite analizleri titrimetrik yöntemle, TP analizi persülfat parçalaması yöntemi ile, TKM, AKM, UKM analizleri ise gravimetrik yöntemle yapılmıştır.

4.2.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini (Dikromat Metodu)

Kullanılan çözeltiler:

1. H₂SO₄ reaktifi: 1 kg H₂SO₄ içinde 5.5 Ag₂SO₄ bulunacak şekilde, istenen miktar hazırlanır. Çözünmenin tamamlanması için 1-2 gün beklenir.
2. Standart 0.0417 M K₂Cr₂O₇ çözeltisi: 103°C'de iki saat etüvde kurutulmuş 12,259 g K₂Cr₂O₇ saf suda çözülerek hacim 1L'ye tamamlanır.
3. Standart 0.25 M Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O : 98 g Fe(NH₄)₂(SO₄)₂·6H₂O saf suda çözülür, 20 ml derişik H₂SO₄ eklenerek soğutulur ve hacim 1L'ye tamamlanır.
4. Ferroin indikatör çözeltisi : 1.485 g 1-10 fenantrolin ve 695 mg FeSO₄·7H₂O suda çözülerek hacim 100 ml'ye tamamlanır.
5. HgSO₄ tozu

Deneyin yapılışı: Geri soğutuculu balonjojeye 0.4 g HgSO₄ konulur. 20 ml su numunesi veya saf su ile 20 ml'ye seyreltilmiş numune balona alınır. 10 ml 0.0417 M K₂Cr₂O₇ çözeltisi ve 30 ml H₂SO₄ ilave edilerek karıştırılır. Balonjoje geri soğutucuya

bağlanarak 2 saat kaynatılır. Süre sonunda balonjoje çıkarılarak oda sıcaklığına kadar soğutulur. Karışıma hacminin 2 katı kadar (120 ml) saf su ilave edilir. 2-3 damla ferroin indikatör çözeltisi eklenerek 0.25 M $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi ile renk mavi-yeşilden kırmızı kahverengiye dönünceye kadar titre edilir ve harcanan miktar kaydedilir. Aynı işlemler saf su kullanılarak yapılır.

Hesaplama:

$$\text{KOİ}(\text{mg/L}) = \frac{(A - B) \times M \times 8000}{V} \dots\dots\dots(4.1)$$

Burada; A: Şahit çözeltisi için sarfedilen $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi (ml)

B: Numune için sarfedilen $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisi (ml)

M: $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ çözeltisinin molaritesi

V : Numune hacmi (ml)

4.2.2. Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) tayini

Kullanılan çözeltiler:

1. Parçalama reaktifi: 134 g K_2SO_4 , 650 ml amonyaksız saf suda çözülür. 200 ml derişik H_2SO_4 eklenir. Karıştırılarak 2 g HgO 'in 25 ml 6N H_2SO_4 'deki çözeltisi ilave edilerek çözelti saf su ile 1 L'ye tamamlanır.
2. Sodyum hidroksit-sodyum tiyosülfat reaktifi: 500 g NaOH ve 25 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ saf suda çözülerek 1 L'ye tamamlanır.
3. Fenolftalein indikatör çözeltisi : 5 g fenolftalein disodyum tuzu saf suda çözülüp 1L'ye tamamlanır. 0.02 N NaOH'den hafif pembe renk görününceye kadar damla damla konulur.
4. Karışım indikatör çözeltisi : 200 mg metil kırmızısı indikatörü, 100 ml %95'lik etil veya izopropil alkolde çözülür. 100 mg metilen mavisi, 50 ml %95'lik etil veya izopropil alkolde çözülür. Bu iki çözelti birleştirilerek karıştırılır.
5. Borik asit çözeltisi : 20 g H_3BO_3 , amonyaksız saf suda çözülür. 10 ml karışım indikatör çözeltisi eklemerek 1 L'ye tamamlanır.
6. 0.02 N standart H_2SO_4 çözeltisi : 2.8 ml derişik H_2SO_4 1 L'ye tamamlanarak 0.1 N H_2SO_4 çözeltisi hazırlanır. Bundan 200 ml alınarak 1 L'ye tamamlanır.

Deneyin yapılışı : Kirlilik durumuna uygun şekilde, tablodaki miktarda numune alınır. Gerekliyse 300 ml'ye seyreltilir ve pH'ı 7'ye nötrale edilir.

İçindeki organik azot (mg/L)	Alınacak numune miktarı (ml)
0-1	500
1-10	250
10-20	100
20-50	50
50-100	25

Numune 300 ml'den fazla ise 300 ml kalana kadar kaynatılır. Oda sıcaklığına kadar soğutulmuş numuneye 50 ml parçalama reaktifi ilave edilir. Çözelti berrak olana kadar kaynatılır. Balon 30 dak daha kaynatılır ve balon muhtevası soğutulur. Balondaki çözelti 300 ml'ye seyreltilir ve 0.5 ml fenolftalein indikatör çözeltisi eklenerek karıştırılır. Balonu sallamadan 50 ml sodyum hidroksit-sodyum tiyosülfat reaktifi ilave edilir. Sonra balon derhal destilasyon cihazına bağlanır, çalkalanır. Soğutucunun ucu 50 ml borik asit çözeltisi içine batırılır ve 200 ml destilat toplanıncaya kadar balon kaynatılır. Toplanan destilat 0.02 N H₂SO₄ çözeltisi ile renk yeşilden menekşe rengine dönünceye kadar titre edilir. Aynı şekilde aynı miktar borik asitle bir şahit hazırlanır.

Hesaplama :

$$\text{TKN(mg/L)} = \frac{(A - B) \times 280}{V} \dots\dots\dots(4.2)$$

Burada ; A : Numune için sarfedilen 0.02 N H₂SO₄ çözeltisi (ml)

B: Şahit çözeltisi için sarfedilen 0.02 N H₂SO₄ çözeltisi (ml)

V : Numune hacmi (ml)

4.2.3. Toplam Fosfor (TP) Tayini (Persülfat Parçalaması Metodu) :

Kullanılan çözeltiler :

1. Vanadat-molibdat reaktifi : 25 g (NH₄)₆Mo₇O₂₄×4H₂O 300 ml saf suda çözülür. 1.25 g amonyum meta vanadat (NH₄)VO₃ 300 ml saf suda kaynatılarak çözülür ve 330 ml derişik HCl eklenir. Bu çözelti oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra ilk hazırlanan çözelti bu çözeltiliye boşaltılır ve toplam hacim 1 L'ye tamamlanır.

2. Fenolftalein indikatör çözeltisi : 5 g fenolftalein disodyum tuzu saf suda çözülüp 1 L'ye tamamlanır.

3. Standart fosfat çözeltisi : 219.5 mg KH_2PO_4 saf suda çözülüp 1L'ye tamamlanır.

4. $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ tozu

Deneyin yapılışı: Standart fosfat çözeltisinden 1, 2, 5, 10, 15 ppm'lik standartlar hazırlanır. Bu standartlar ve 100 ml numune alınarak ağızları rodajlı 100 ml'lik erlenlere boşaltılırlar. 1-2 damla fenolftalein indikatör çözeltisi, 1 ml H_2SO_4 ve 0.4 g amonyum persülfat $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ eklenir. Kapakları kapatılır. 121 °C'de otoklavda 30-40 dakika bekletilir. Soğutulup 1-2 damla fenolftalein indikatör çözeltisi konulur. Hafif pembe renk görünene kadar 1 N NaOH eklenir. 50 ml'lik balonlara 25 ml alınarak 10 ml vanadat molibdat reaktifi ilave edilir. Saf su ile 50 ml'ye tamamlanır. 10 dakika bekletildikten sonra spektrofotometrede 420 nm'de okuma yapılır. Standart eğri hazırlanarak numunenin toplam fosfor konsantrasyonu bulunur.

4.2.4. Toplam Katı Madde (TKM) Tayini :

Deneyin yapılışı : Bir porselen buharlaştırma kabı alınır. Sabit tartıma getirilmiş olan bu kap, hassas terazide tartılır. Bunun içine iyice karıştırılmış numuneden 100 ml konur. 103-105 °C'de etüvde en az 1 saat tutulur. Daha sonra kroze etüvden alınır, desikatörde soğutulur ve tartılır. Bu iki tartım yardımıyla, numunedeki toplam katı madde konsantrasyonu hesaplanır.

Hesaplama :

$$\text{TKM}(\text{mg/L}) = \frac{(A - B) \times 1000}{V} \dots\dots\dots(4.3)$$

Burada; A : Porselen kroze + içinde kalan maddelerin ağırlığı (mg) (103 °C'den sonra)

B : Porselen krozenin ağırlığı (mg)

V : Numune hacmi (ml)

4.2.5. Uçucu Katı Madde (UKM) Tayini :

Deneyin yapılışı: Toplam katı madde tayini yapıldıktan sonra kroze ve içinde kalan maddeler 550 ± 50 °C’de fırında tutulur ve kroze desikatörde soğutulduktan sonra tekrar tartılır.

Hesaplama :

$$\text{UKM}(\text{mg / L}) = \frac{(A - C) \times 1000}{V} \dots\dots\dots(4.4)$$

Burada ; A : Porselen kroze + içinde kalan maddelerin ağırlığı (mg) (103 °C’den sonra)

C : Porselen kroze + içinde kalan maddelerin ağırlığı (mg) (550 °C’den sonra)

V : Numune hacmi (ml)

4.2.6. Askıda Katı Madde (AKM) Tayini :

Deneyin yapılışı: Sabit tartıma getirilmiş filtre kağıdından belirli hacimdeki su numunesi filtrelendir. Filtre kağıdı üzerinde kalan maddelerle birlikte 103-105 °C’de etüvde kurutulduktan sonra tekrar tartılır. Bu iki tartım yardımıyla, numunedeki askıda katı madde konsantrasyonu hesaplanır.

Hesaplama :

$$\text{AKM}(\text{mg / L}) = \frac{(A - B) \times 1000}{V} \dots\dots\dots(4.5)$$

Burada ; A: Filtre kağıdı ağırlığı + filtre edilemeyen katı maddelerin ağırlığı (mg)
(103°C’den sonra)

B: Filtre kağıdı ağırlığı (mg)

V: Numune hacmi (ml)

5.BULGULAR

Havasız çamur yataklı reaktörlerde, işletmeye alma sırasında tasarlanan hidrolik ve organik yükler uygulanmadan önce sistemin kararlı hale gelmesi için alıştırma devresine ihtiyaç vardır. Alıştırma devresi, atıksudaki bileşenlerin biyolojik olarak ayrışabilirliğine ve hedef bileşenleri ayrıştırmak için ihtiyaç duyulan mikroorganizmaların büyüme hızına göre değişmektedir. Bu amaçla, reaktörler belirli bir süre (30 gün) alıştırma devresinde çalıştırıldıktan sonra işletmeye alma safhasına geçilmiştir.

Havasız çamur yataklı reaktörler, alıştırma devresinde bira fabrikasının atıksu arıtma tesisinin havasız reaktöründen alınan granüler çamuru ile aşılanmıştır. Aşı çamurunun uçucu katı madde konsantrasyonu 6263 mg/L'dir. Reaktörlerin her ikisi, reaktör hacminin yaklaşık olarak %30'una karşılık gelecek şekilde, 3 litre aşı çamuru ile doldurulmuştur. Daha sonra, hazırlanan sentetik atıksu reaktörlere verilmiştir.

Reaktörler, sıcaklığı 37°C olan kapalı bir odada tutularak, mezofilik şartlar altında bir arıtım gerçekleşmiştir. Ortamın sıcaklığı düzenli olarak ölçülmüştür. Sistemde ihtiyaç duyulduğu zaman kullanılmak üzere önceden hazırlanan sentetik atıksu, vaktinden önce meydana gelecek bir ayrışmayı önlemek amacıyla, kullanılıncaya kadar 4°C'de buzdolabında tutulmuş ve kullanılmadan önce 37°C'ye kadar ısıtılmıştır.

Alıştırma devresinin başlangıcında, 1. Reaktöre KOİ'si 8000 mg/L ve 2. Reaktöre KOİ'si 12000 mg/L olan sentetik atıksu verilmiştir. Reaktörlerin pH değerleri sırasıyla 7.14 ve 7.26 olarak ölçülmüştür. Toplam alkaliniteleri ise 1454 mg/L ve 1510 mg/L CaCO₃ olarak tayin edilmiştir. Alıştırma devresi boyunca sentetik atıksu sürekli olarak geri devrettirilmiştir. Böylece aşı çamurunda bulunan mikroorganizmaların sistemde daha uzun süre kalmaları sağlanmıştır.

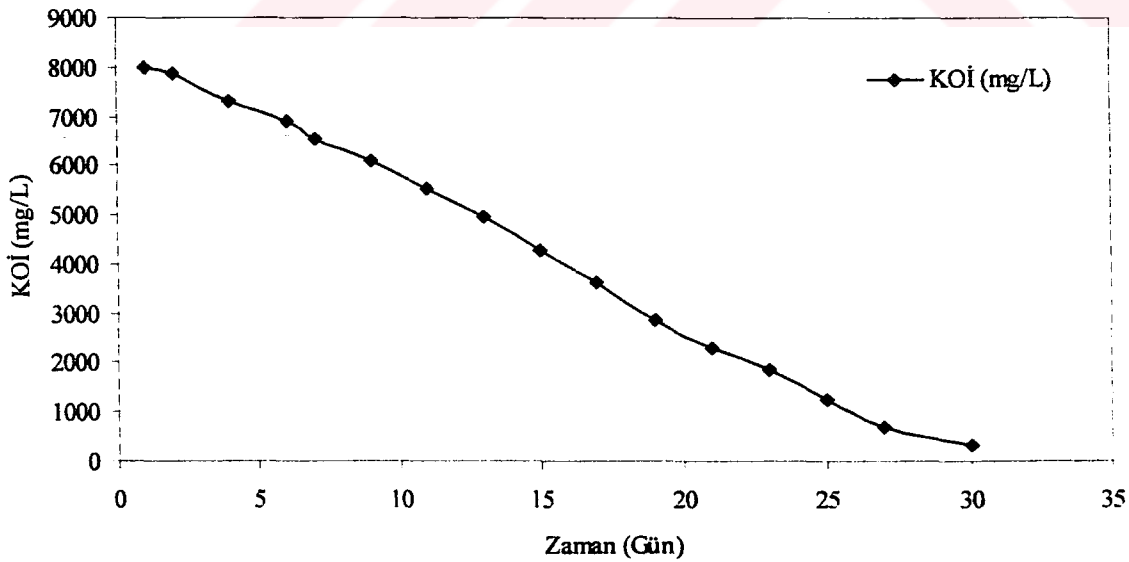
5.1. 1. Reaktörde Yapılan Analizlerin Sonuçları

Alıştırma devresi boyunca, reaktörlerin çıkışından (savaktan sonra) alınan numunelerde pH, KOİ, TKM, AKM, UKM ve alkalinite analizleri yapılmıştır. Ortamın sıcaklığı ve reaktörlerin pH değerleri günlük olarak ölçülmüştür. Yapılan analizlerin sonuçları 1.Reaktör için Tablo 5.1’de verilmiştir.

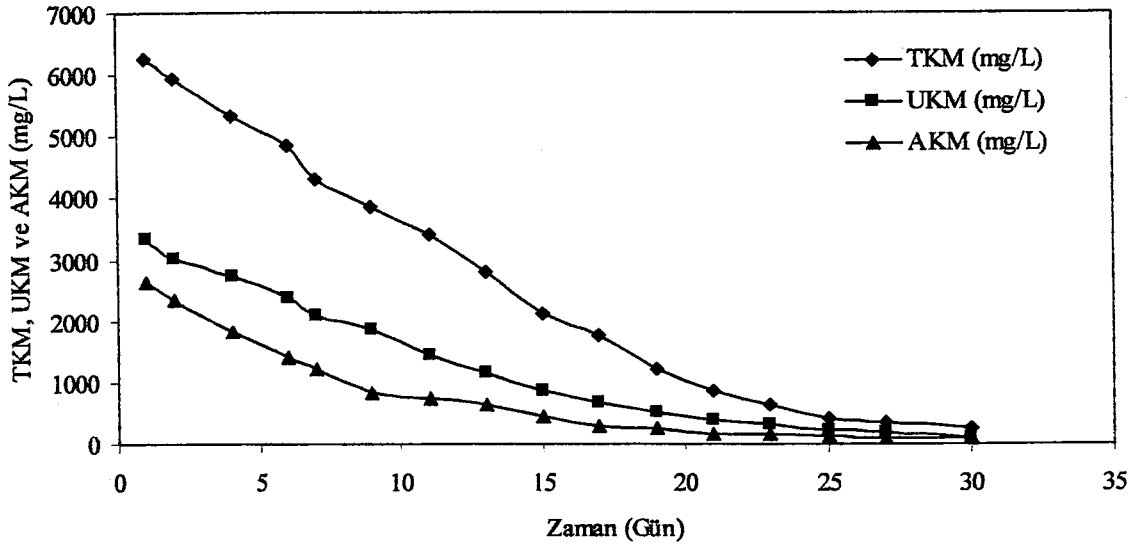
Tablo 5.1. 1.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca Yapılan Analizlerin Sonuçları

Gün	pH	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	UKM (mg/L)	AKM (mg/L)
1	7.14	8000	6264	3325	2637
2	7.63	7850	5946	3018	2345
4	6.94	7320	5318	2738	1846
6	7.34	6910	4847	2364	1416
7	7.10	6540	4312	2092	1231
9	6.81	6110	3846	1867	834
11	6.89	5530	3417	1456	752
13	6.92	4980	2789	1142	645
15	7.01	4260	2113	874	447
17	7.24	3650	1765	659	299
19	7.45	2870	1208	518	245
21	7.36	2290	882	393	176
23	7.21	1860	645	319	146
25	7.18	1240	427	225	118
27	7.12	670	349	186	95
30	7.65	340	258	108	82

Alıştırma devresi boyunca 1.Reaktörde KOİ giderimi Şekil 5.1’de, TKM, UKM ve AKM giderimi ise Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca KOİ Giderimi



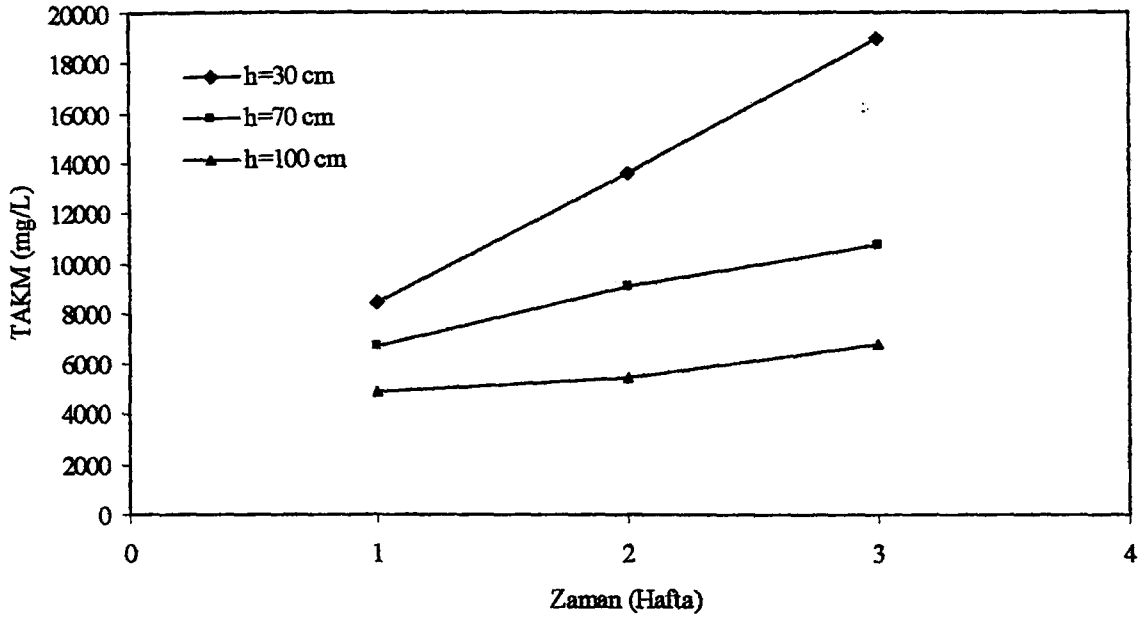
Şekil 5.2. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca TKM, UKM ve AKM Giderimi

Alıştırma devresi süresince, her iki reaktörün yükseklikleri boyunca yerleştirilmiş olan numune alma musluklarından numune alınarak pH, toplam askıda katı madde (TAKM), uçucu askıda katı madde (UAKM) ve alkalinite analizleri yapılmıştır. 1. Reaktörde alıştırma devresi boyunca yapılan analizlerin sonuçları Tablo 5.2’de verilmiştir.

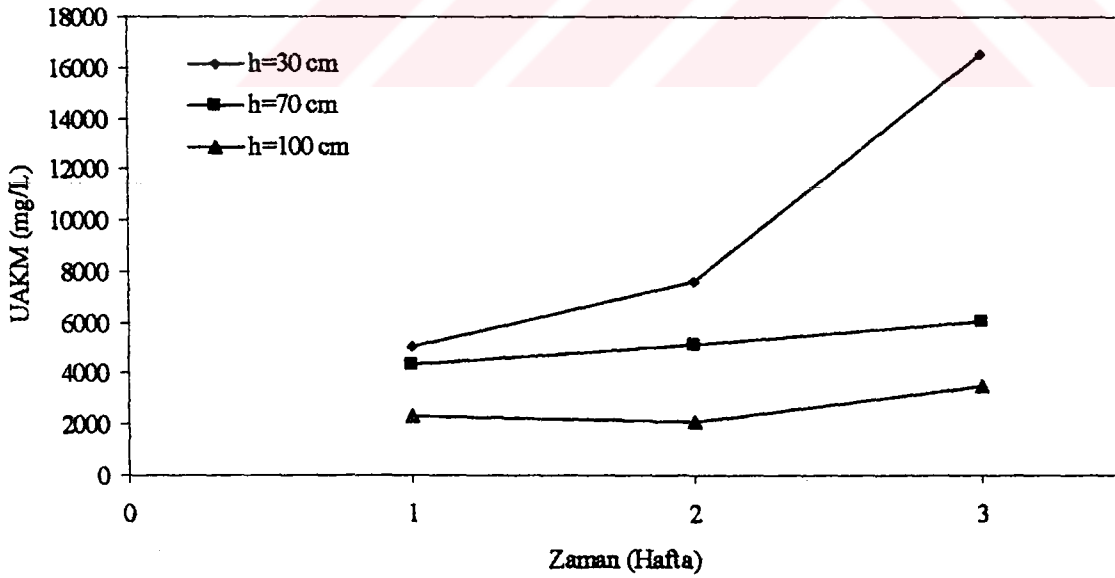
1. Reaktörde alıştırma devresi boyunca reaktörün farklı yüksekliklerindeki TAKM ve UAKM konsantrasyonunun zamanla değişimi Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de verilmiştir. Ayrıca, farklı zamanlardaki TAKM ve UAKM konsantrasyonunun reaktör yüksekliği ile değişimi Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.2. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca Numune Alma Musluklarında Yapılan Analizlerin Sonuçları

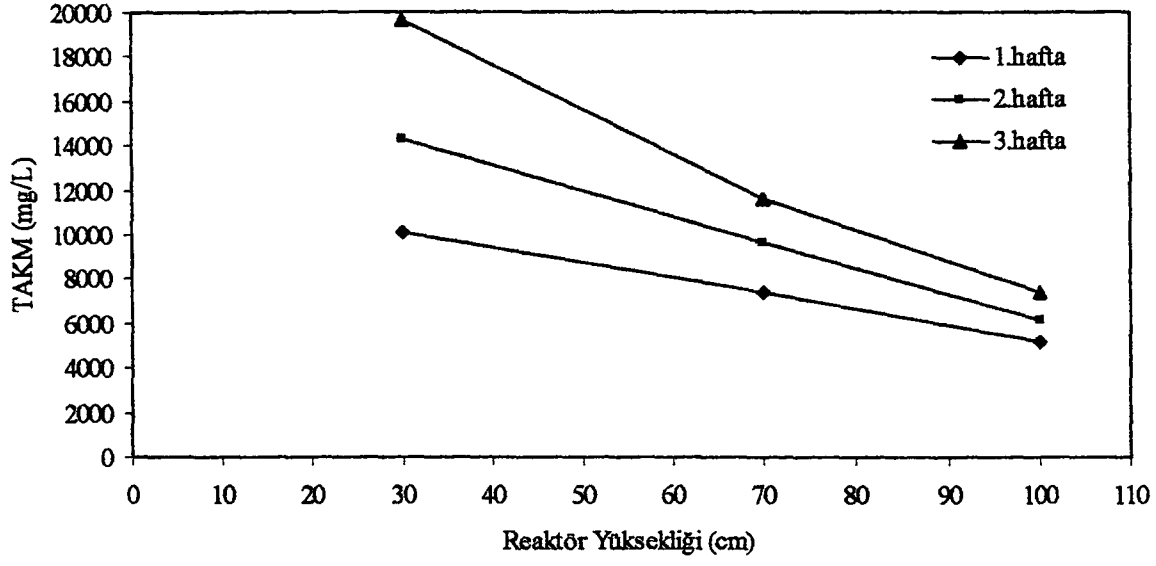
Yükseklik (cm)	1. Hafta		2. Hafta		3. Hafta	
	TAKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TAKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TAKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
30	8460	5018	13636	7624	18940	16533
70	6749	4361	9123	5148	10720	6048
100	4918	2333	5457	2117	6817	3487



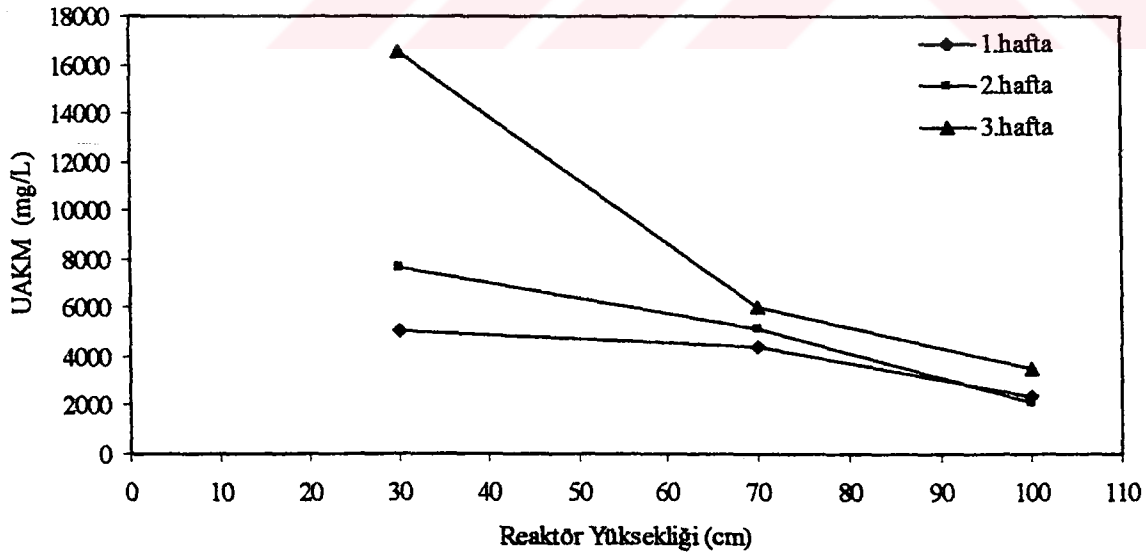
Şekil 5.3. 1.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca TAKM Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 5.4. 1.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca UAKM Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 5.5. 1.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca TAKM Konsantrasyonunun Reaktör Yüksekliği İle Değişimi



Şekil 5.6. 1. Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca UAKM Konsantrasyonunun Reaktör Yüksekliği İle Değişimi

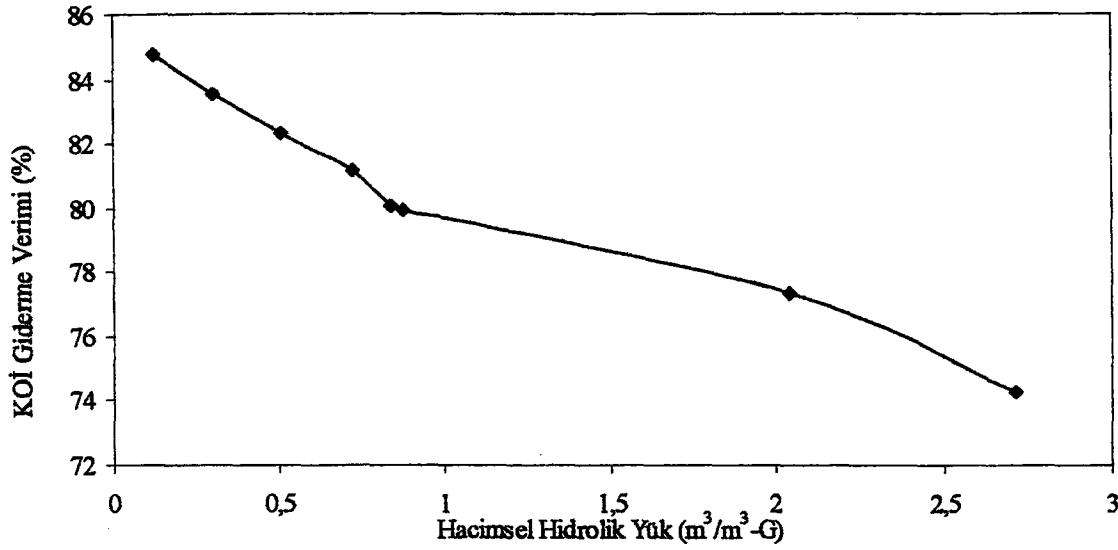
Yapılan analizler sonucunda, 1.Reaktörde zamanla TAKM ve UAKM konsantrasyonunun arttığı gözlenmiştir. Örneğin 1.hafta 30 cm yüksekliğindeki TAKM konsantrasyonu 8460 mg/L ve UAKM konsantrasyonu 5018 mg/L iken, 3.haftada TAKM konsantrasyonu 18940 mg/L değerine ve UAKM konsantrasyonu 16533 mg/L değerine yükselmiştir. Reaktörde aşağıdan yukarı doğru TAKM ve UAKM konsantrasyonu azalmıştır. Reaktörün alt kısmında oldukça yoğun bir çamur yatağının, orta kısmında ise daha az yoğun bir çamur örtüsünün teşekkül ettiği gözlenmiştir. 1.Reaktördeki TAKM konsantrasyonu 3.haftada 30 cm yüksekliğindeki numune alma musluğunda 18940 mg/L ve UAKM konsantrasyonu 16533 mg/L iken, 100 cm yüksekliğindeki numune alma musluğunda TAKM konsantrasyonu 6817 mg/L ve UAKM konsantrasyonu 3487 mg/L olmuştur.

Alıştırma devresinden sonra reaktörler işletmeye alınmıştır. Reaktörlere farklı hacimsel hidrolik yükler uygulanarak sistemin arıtma verimi incelenmiştir. Hacimsel hidrolik yük başlangıçta düşük tutulmuş ve daha sonra giderek arttırılmıştır. Uygulanan farklı hacimsel hidrolik yüklerde elde edilen KOİ giderme verimleri 1.Reaktör için Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3. 1.Reaktörde Farklı Hacimsel Hidrolik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri

Debi (ml/s)	Hacimsel Hidrolik Yük (m^3/m^3-G)	Giriş KOİ (mg/L)	Çıkış KOİ (mg/L)	KOİ giderme verimi (%)
0.014	0.121	8000	1220	84.75
0.035	0.302	7960	1310	83.54
0.059	0.510	8040	1420	82.34
0.084	0.726	8110	1630	81.13
0.097	0.838	7840	1610	80.05
0.101	0.873	7630	1630	79.95
0.236	2.039	7880	1860	77.34
0.314	2.713	8240	2120	74.27

1. Reaktörde uygulanan hacimsel hidrolik yük ile KOİ giderme verimi arasındaki ilişki Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. 1.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki İlişki

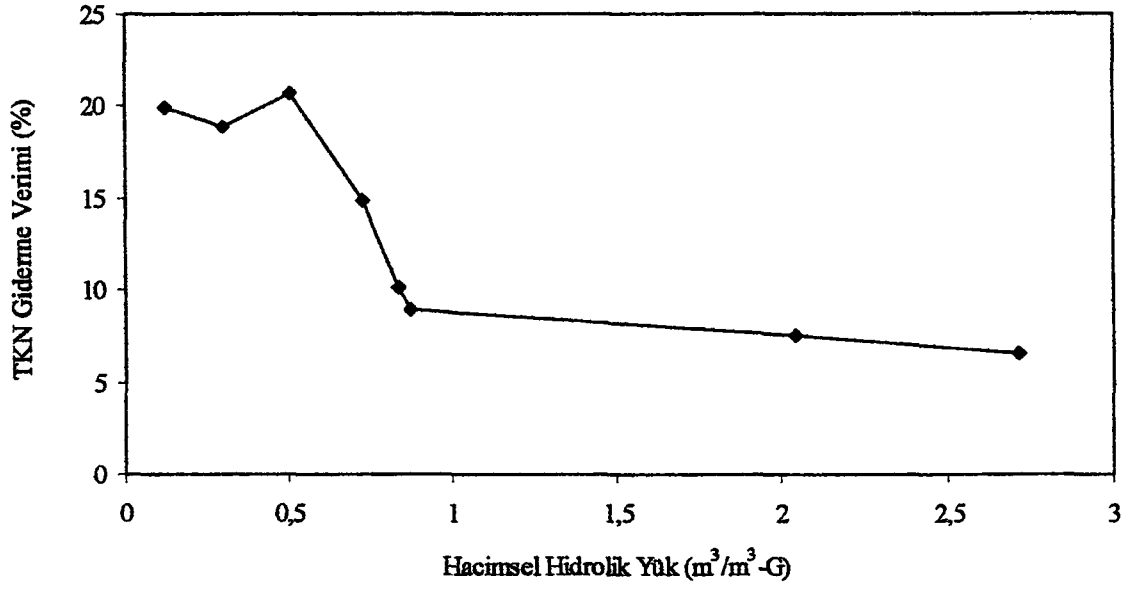
Hacimsel hidrolik yük arttıkça, KOİ giderme veriminde azalmalar olduğu görülmüştür. Örneğin 1.Reaktörde hacimsel hidrolik yük $0.121 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-G}$ iken KOİ giderme verimi % 84.75 olduğu halde, hacimsel hidrolik yük $2.713 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-G}$ 'e çıkarıldığı zaman verim % 74.27'e düşmüştür.

Farklı hacimsel hidrolik yüklerde reaktörün giriş ve çıkışlarından alınan numunelerde pH, toplam kjeldahl azotu (TKN), toplam fosfor (TP), alkalinite, toplam katı madde (TKM), uçucu katı madde (UKM) ve askıda katı madde (AKM) analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen veriler 1.Reaktör için Tablo 5.4'de verilmiştir.

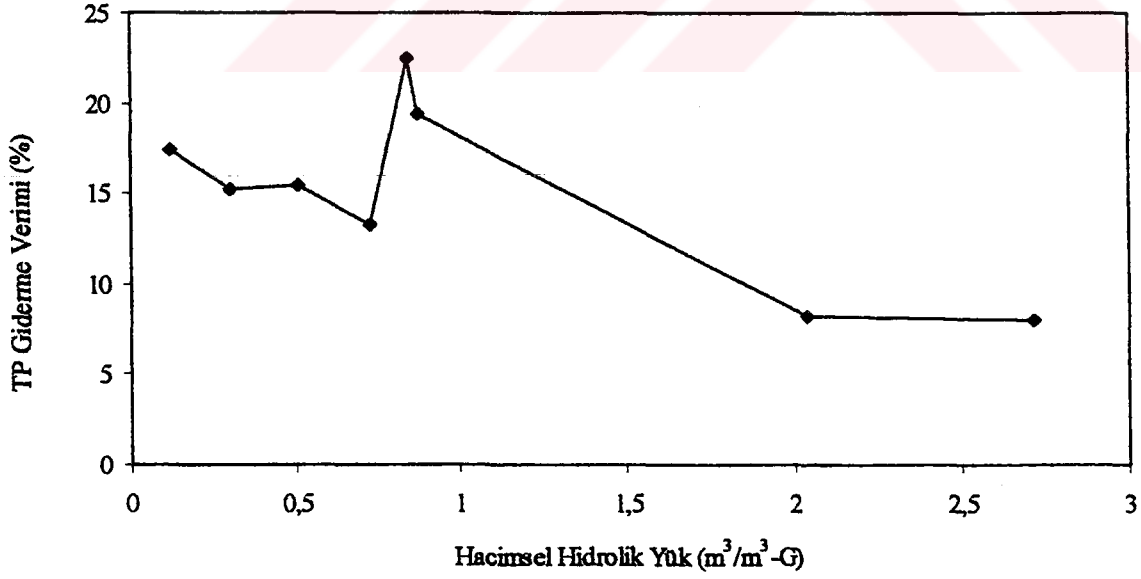
1.Reaktörde hacimsel hidrolik yük ile TKN giderme verimi arasındaki ilişki Şekil 5.8'de ve TP giderme verimi arasındaki ilişki Şekil 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.4. 1.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yüke Göre Çeşitli Parametreler İçin Arıtma Verimleri

Hacimsel Hidrolik Yük (m ³ /m ³ -G)		0.121	0.302	0.510	0.726	0.838	0.873	2.039	2.713
pH	Giriş	7.63	7.67	7.34	7.48	7.54	6.98	7.49	7.32
	Çıkış	7.47	7.48	6.94	7.10	6.85	6.43	7.15	6.94
TKN (mg/L)	Giriş	246	254	270	290	285	325	318	337
	Çıkış	197	206	214	247	256	296	294	315
	Verim (%)	19.92	18.90	20.74	14.83	10.18	8.92	7.55	6.53
TP (mg/L)	Giriş	78.14	87.43	82.16	85.44	79.28	80.45	83.32	81.76
	Çıkış	64.49	74.12	69.46	74.13	61.46	64.87	76.49	75.10
	Verim (%)	17.47	15.22	15.46	13.24	22.48	19.37	8.20	8.04
Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	Giriş	1350	1500	1494	1670	1110	1850	1540	1510
	Çıkış	850	640	540	680	420	940	870	980
	Verim (%)	37.04	57.33	63.86	59.28	62.16	49.19	43.51	35.10
TKM (mg/L)	Giriş	6418	6348	6017	6258	6576	6876	7010	6453
	Çıkış	979	1126	1226	1342	1497	1624	1967	1948
	Verim (%)	84.75	82.26	79.62	77.24	77.24	76.38	71.94	69.81
UKM (mg/L)	Giriş	4082	4126	4076	4325	4247	3918	5176	3728
	Çıkış	610	654	789	1086	893	912	1410	992
	Verim (%)	85.06	84.41	80.64	74.89	78.97	76.72	72.76	73.39
AKM (mg/L)	Giriş	3324	3652	3145	3478	3967	4128	5346	4256
	Çıkış	418	556	527	726	978	1048	1367	1182
	Verim (%)	87.42	84.78	83.24	78.82	75.35	74.61	74.43	72.23



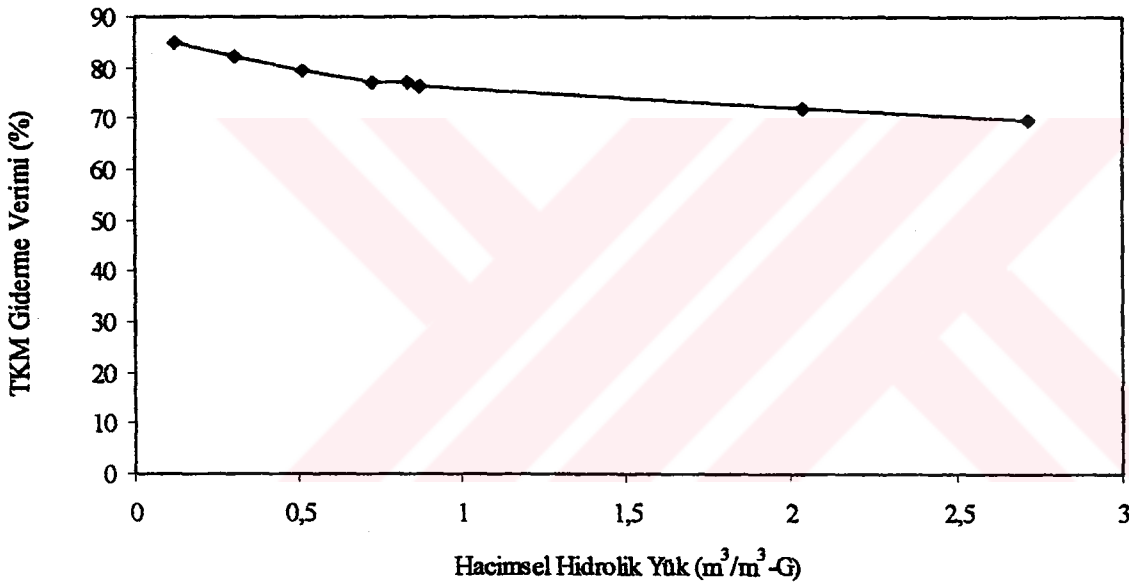
Şekil 5.8. 1.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TKN Giderme Verimi Arasındaki İlişki



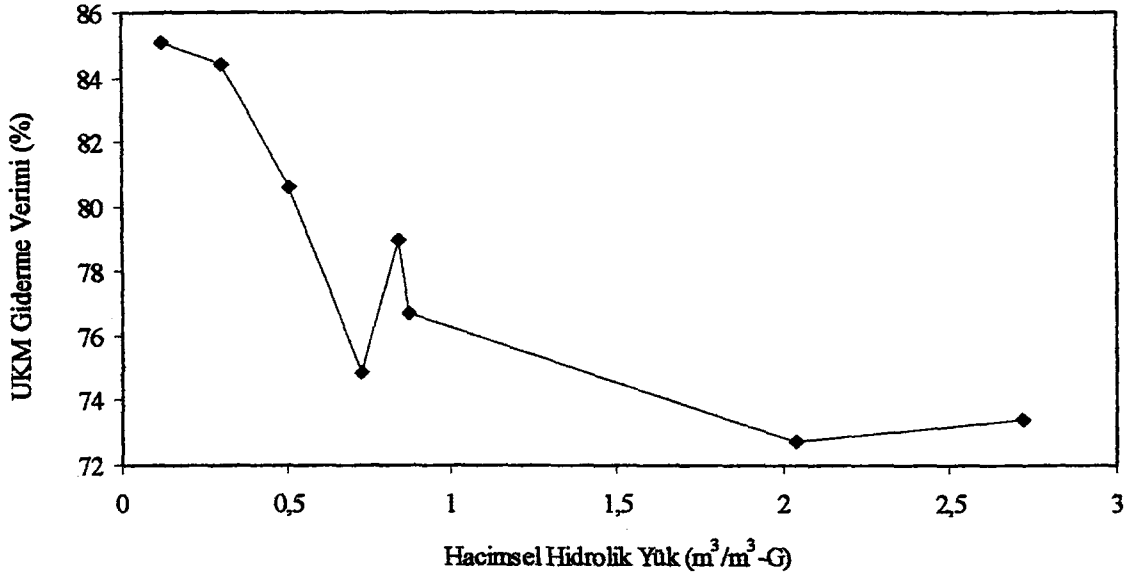
Şekil 5.9. 1.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TP Giderme Verimi Arasındaki İlişki

Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 incelendiği zaman, 1.Reaktörde azot ve fosfor giderme veriminin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Reaktörde en yüksek azot giderimi (%20.74), $0.510 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-G}$ hidrolik yükünde ve en yüksek fosfor giderimi (%22.48), $0.838 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-G}$ hidrolik yükünde gerçekleşmiştir.

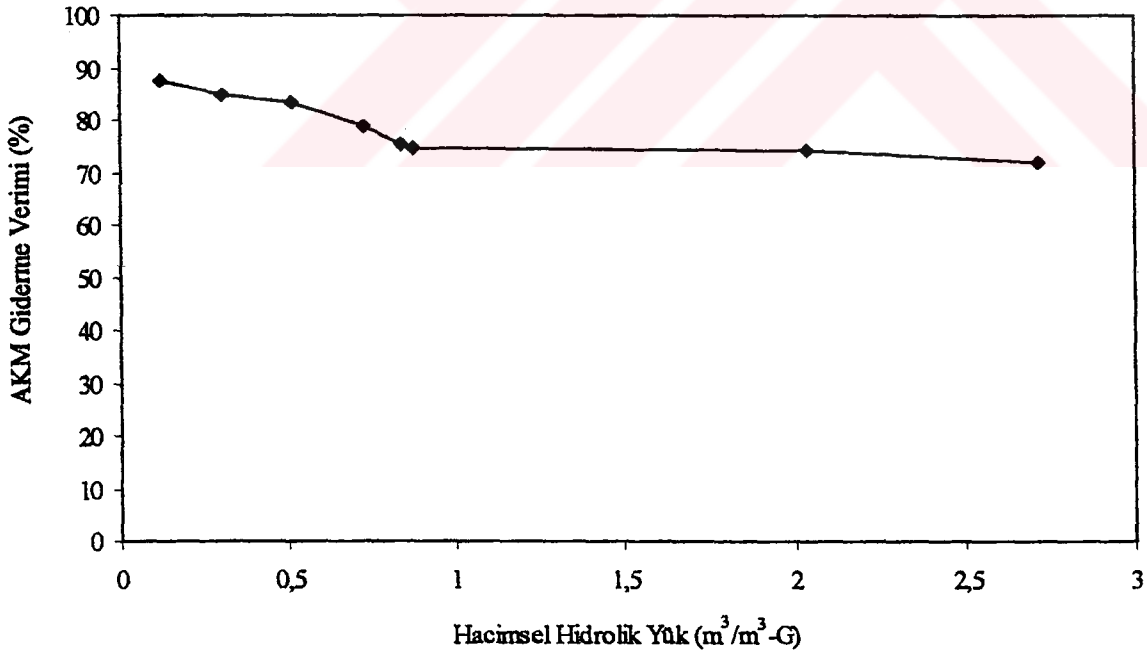
1.Reaktörde hacimsel hidrolik yük ile TKM, UKM ve AKM giderme verimi arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de verilmiştir. Reaktörde TKM, UKM ve AKM giderme verimi düşük hacimsel hidrolik yüklerde oldukça yüksek olurken, hacimsel hidrolik yük arttırıldıkça verim düşmüştür. Yüksek hacimsel hidrolik yüklerde sistemden çamur kaçışı meydana gelmiştir.



Şekil 5.10. 1.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki



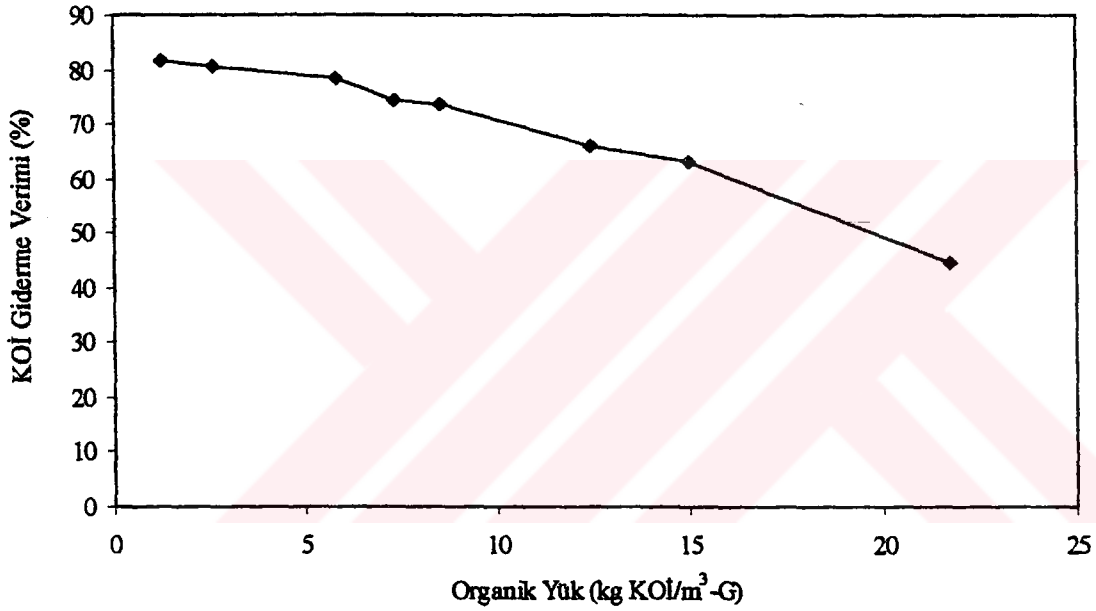
Şekil 5.11. 1.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle UKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki



Şekil 5.12. 1.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle AKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki

Uygulanan Organik Yük (kg KOİ / m ³ -G)	KOİ Giderme Verimi (%)
1.27	81.79
2.63	80.48
5.84	78.26
7.34	74.57
8.56	73.62
12.45	66.18
15.00	63.22
21.72	44.57

1.Reaktörde uygulanan organik yük ile KOİ giderme verimi arasındaki ilişki Şekil 5.13’de verilmiştir.



Şekil 5.13. 1.Reaktörde Organik Yük İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki İlişki

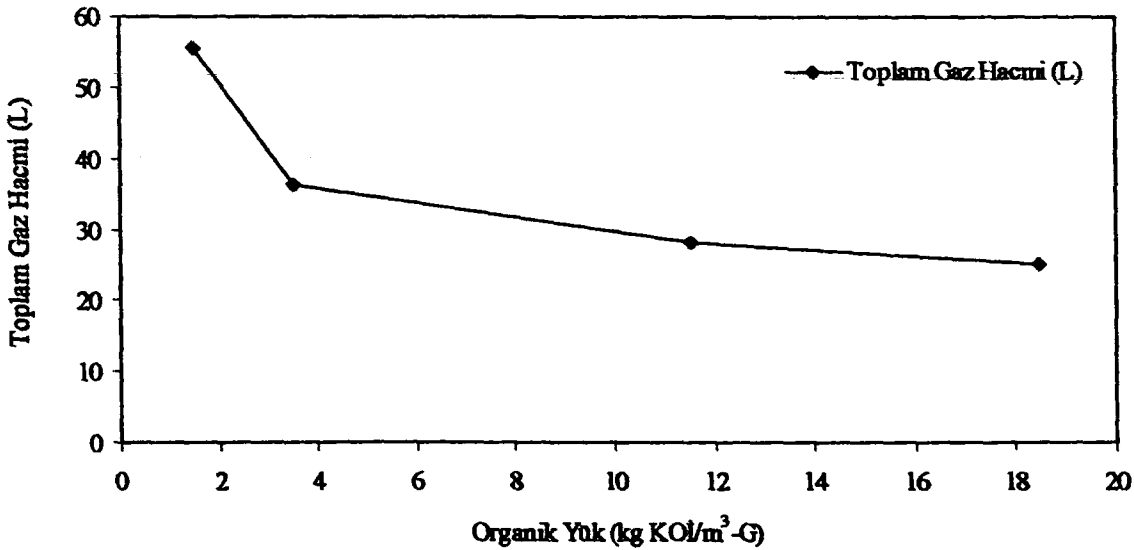
1.Reaktörde 3 günlük hidrolik bekleme süresinde başlangıçta $1.27 \text{ kg KOİ} / \text{m}^3\text{-G}$ değerinde organik yük uygulanmış ve % 81.79 KOİ giderme verimi elde edilmiştir. Ancak organik yük arttıkça sistem verimi düşmüş ve son olarak $21.72 \text{ kg KOİ} / \text{m}^3\text{-G}$ değerinde % 44.57 olmuştur.

Reaktörlerde oluşan gaz miktarı farklı organik yükler uygulanarak ölçülmüştür. Bu arada katı-sıvı-gaz ayrımını incelemek için uygulanan farklı organik yüklerde çıkış suyunun TKM, UKM ve AKM konsantrasyonları ölçülmüştür. 1.Reaktörde uygulanan farklı organik yüklerde oluşan toplam gaz miktarı Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. 1.Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme Verimi ve Oluşan Toplam Gaz Miktarı

Uygulanan Organik Yük ($\text{kg KOİ} / \text{m}^3\text{-G}$)	KOİ Giderme Verimi (%)	Toplam Gaz Hacmi (L)
1.49	82.45	55.44
3.50	81.24	36.18
11.54	75.33	28.24
18.46	64.37	25.10

1.Reaktörde organik yük ile oluşan toplam gaz hacmi arasındaki ilişki Şekil 5.14'de verilmiştir.



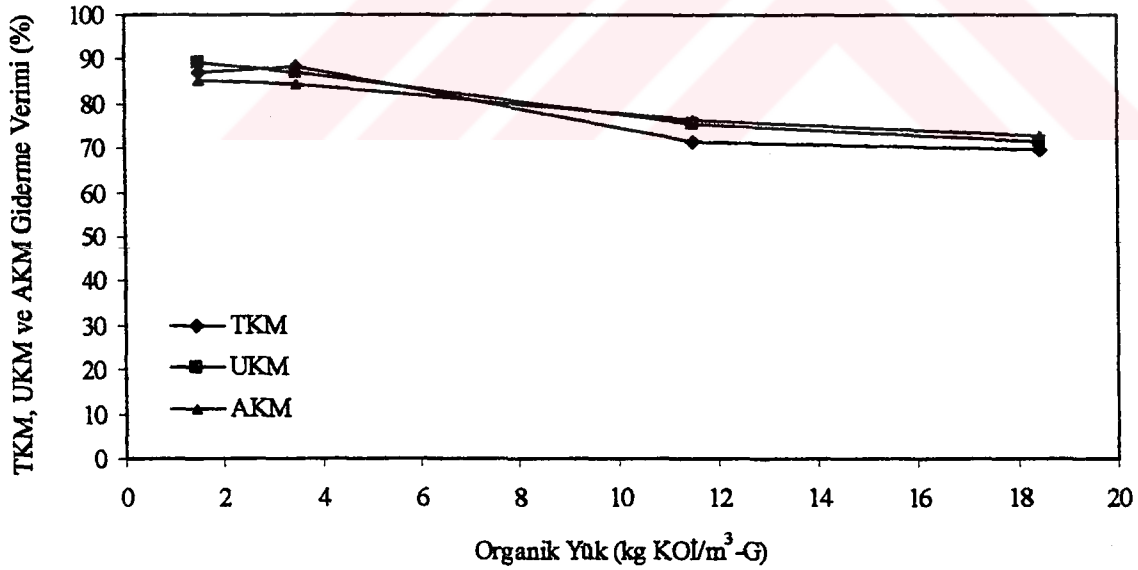
Şekil 5.14. 1.Reaktörde Organik Yük ile Toplam Gaz Miktarı Arasındaki İlişki

1.Reaktörde uygulanan farklı organik yüklerde elde edilen TKM, UKM ve AKM giderme verimleri Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7. 1.Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen TKM, UKM ve AKM Giderme Verimleri

Uygulanan Organik Yük (kg KOİ / m ³ -G)	TKM (mg/L)	UKM (mg/L)	AKM (mg/L)
1.49	87.16	89.44	85.23
3.50	88.57	87.11	84.30
11.54	71.35	75.62	76.14
18.46	69.64	71.58	72.57

1.Reaktörde uygulanan organik yük ile TKM, UKM ve AKM giderme verimleri arasındaki ilişki Şekil 5.15’de verilmiştir.



Şekil 5.15. 1.Reaktörde Organik Yük ile TKM, UKM ve AKM Giderme Verimleri Arasındaki İlişki

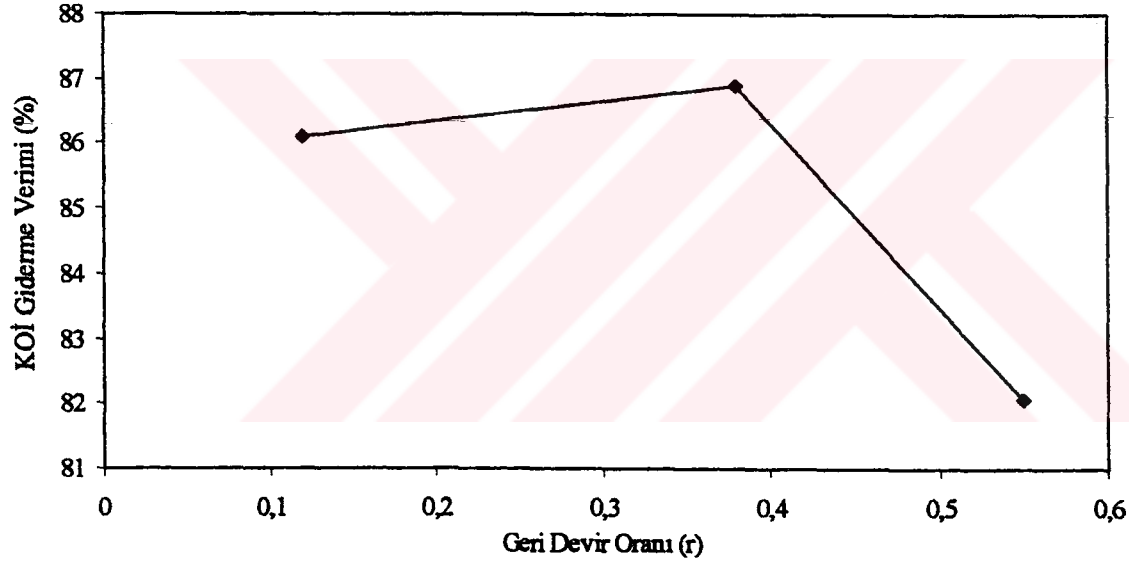
% 81.16, .44 ve % 85.23

Reaktörlerin arıtma verimi üzerinde geri devirin etkisini incelemek amacıyla, çıkış suyu belirli oranlarda reaktörlere geri devrettirilmiştir. Farklı geri devir oranları uygulanarak reaktörlerin KOİ giderme verimi incelenmiştir. 1.Reaktörde farklı geri devir oranlarında elde edilen KOİ giderme verimleri Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8. 1.Reaktörde Farklı Geri Devir Oranlarında Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri

$r = Q_r/Q$	Giriş KOİ (mg/L)	Çıkış KOİ (mg/L)	KOİ Giderme Verimi (%)
0.12	8420	1170	86.10
0.38	8100	1060	86.91
0.55	8650	1550	82.08

1.Reaktör’e ilk olarak uygulanan $r = 0.12$ geri devir oranında verim %86 olmuştur. Geri devir, giren atıksuyun seyrelmesini sağlamıştır. Ancak geri devir oranı arttırıldıkça verimin düştüğü gözlenmiştir. 1.Reaktörde geri devir oranı ile KOİ giderme verimi arasındaki ilişki Şekil 5.16’da verilmistir.



Şekil 5.16. 1.Reaktörde Geri Devir Oranı İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki İlişki

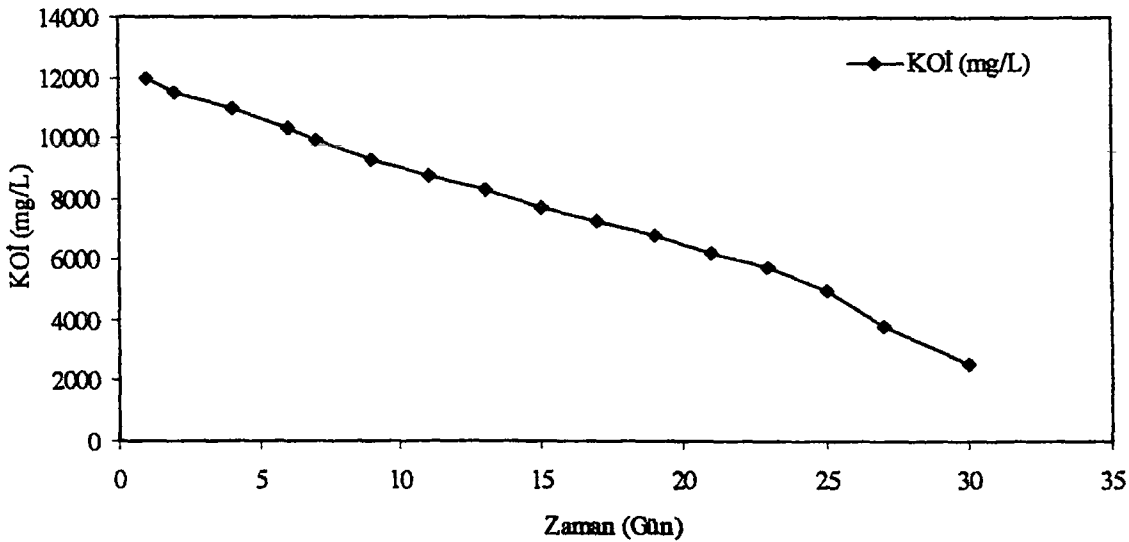
5.2. 2.Reaktörde Yapılan Analizlerin Sonuçları

Alıştırma devresi boyunca, 2.Reaktörden alınan numunelerde yapılan pH, KOİ, TKM, UKM ve AKM analizlerinin sonuçları Tablo 5.9'da verilmiştir.

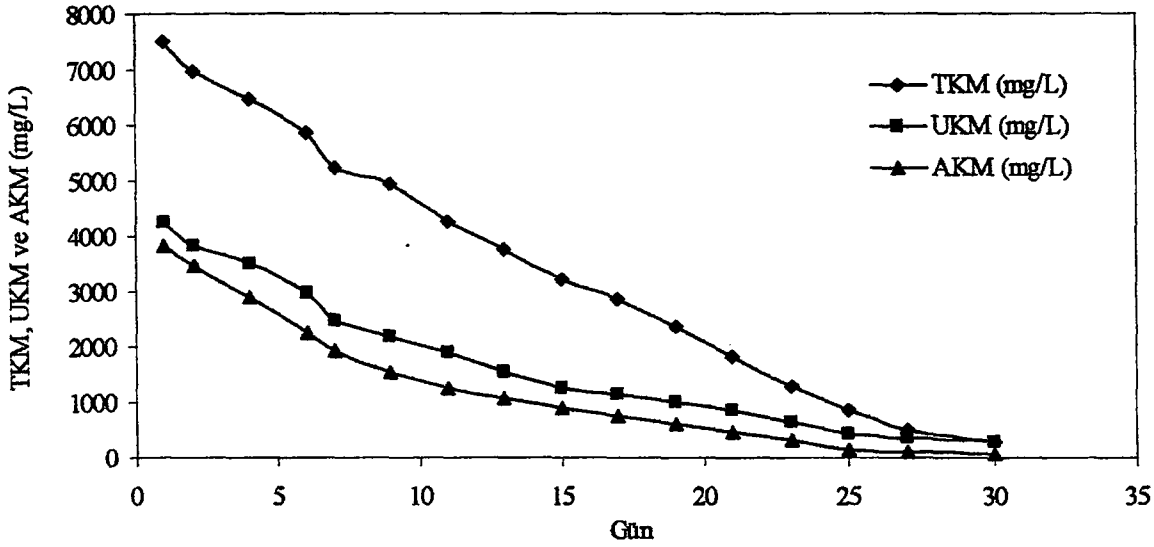
Tablo 5.9. 2.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca Yapılan Analizlerin Sonuçları

Gün	pH	KOİ (mg/L)	TKM (mg/L)	UKM (mg/L)	AKM (mg/L)
1	7.26	12000	7490	4246	3814
2	7.34	11540	6954	3827	3473
4	7.68	10970	6458	3514	2896
6	7.49	10320	5843	2967	2254
7	7.23	9940	5218	2458	1913
9	6.96	9270	4916	2167	1548
11	6.76	8750	4250	1895	1245
13	6.94	8320	3746	1549	1087
15	7.12	7690	3215	1244	876
17	7.54	7250	2849	1158	762
19	7.68	6780	2354	984	594
21	8.07	6240	1833	846	453
23	7.94	5780	1268	633	318
25	7.53	4940	869	425	149
27	7.45	3800	512	348	98
30	7.12	2560	279	279	74

Alıştırma devresi boyunca 2.Reaktörde KOİ giderimi Şekil 5.17'de, TKM, UKM ve AKM giderimi ise Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.17. 2.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca KOİ Giderimi



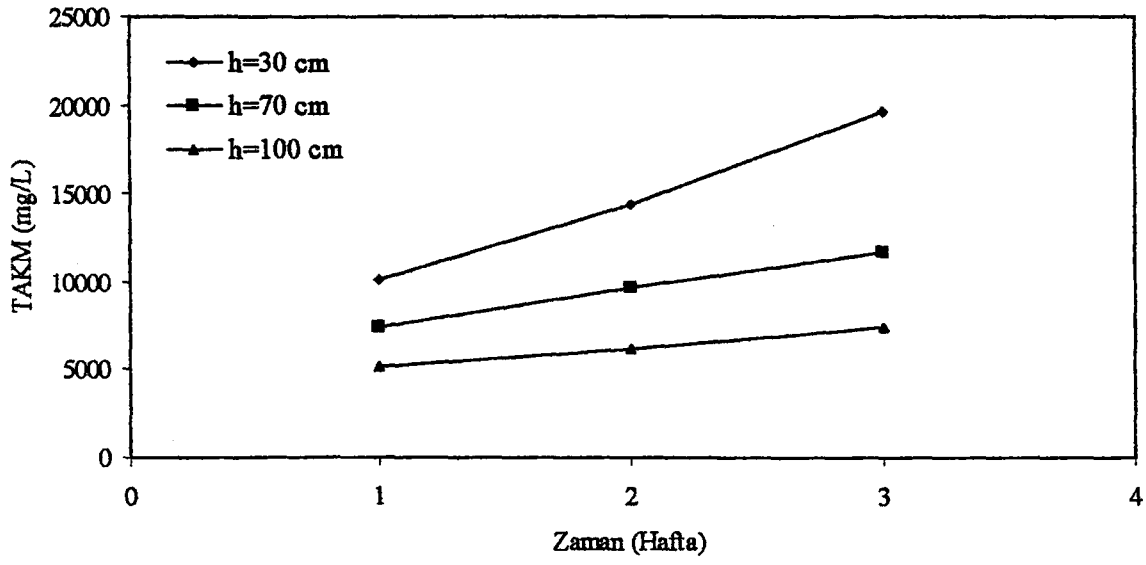
Şekil 5.18. 2.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca TKM, UKM ve AKM Giderimi

Alıştırma devresi süresince, 2.Reaktördeki numune alma musluklarından alınan numunelerde pH, TAKM, UAKM ve alkalinite analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları 2.Reaktör için Tablo 5.10'da verilmiştir.

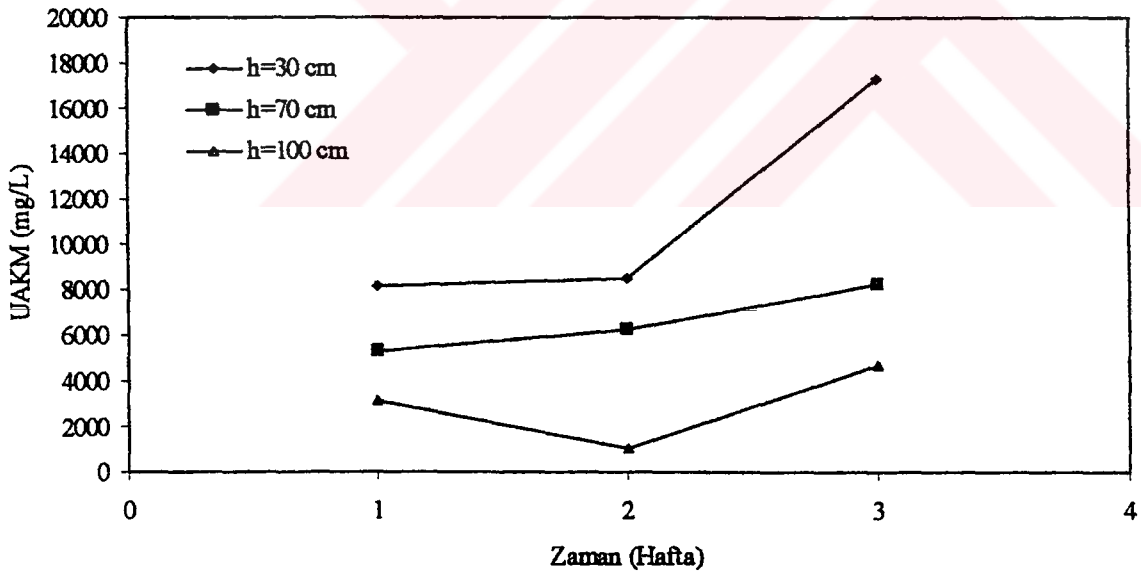
Tablo 5.10. 2.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca Numune Alma Musluklarında Yapılan Analizlerin Sonuçları

Yükseklik (cm)	1. Hafta		2. Hafta		3. Hafta	
	TAKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TAKM (mg/L)	UAKM (mg/L)	TAKM (mg/L)	UAKM (mg/L)
30	10127	8136	14310	8510	19618	17312
70	7453	5274	9627	6234	11650	8253
100	5189	3124	6140	1036	7435	4678

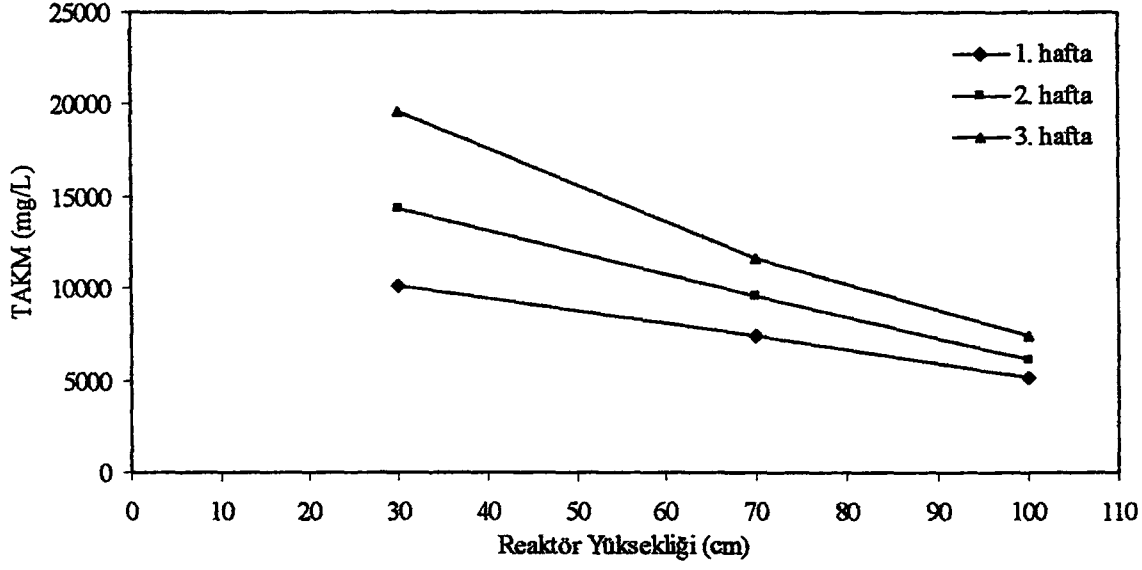
2.Reaktörde alıştırma devresi boyunca reaktörün farklı yüksekliklerindeki TAKM ve UAKM konsantrasyonunun zamanla değişimi Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de verilmiştir. Ayrıca, farklı zamanlardaki TAKM ve UAKM konsantrasyonunun reaktör yüksekliği ile değişimi Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de verilmiştir.



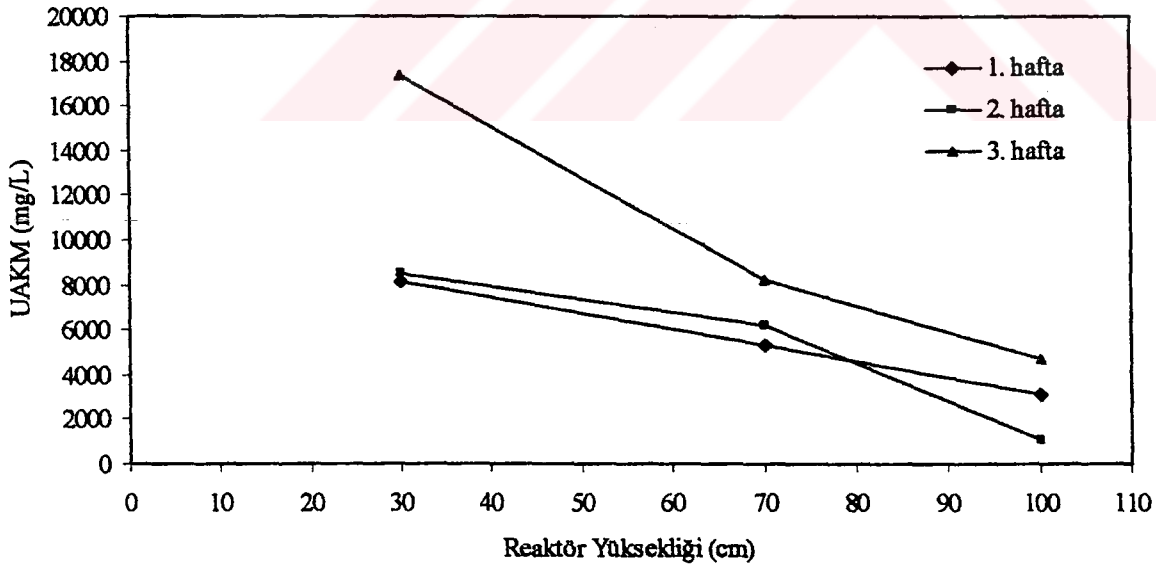
Şekil 5.19. 2.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca TAKM Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 5.20. 2.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca UAKM Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 5.21. 2.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca TAKM Konsantrasyonunun Reaktör Yüksekliği İle Değişimi



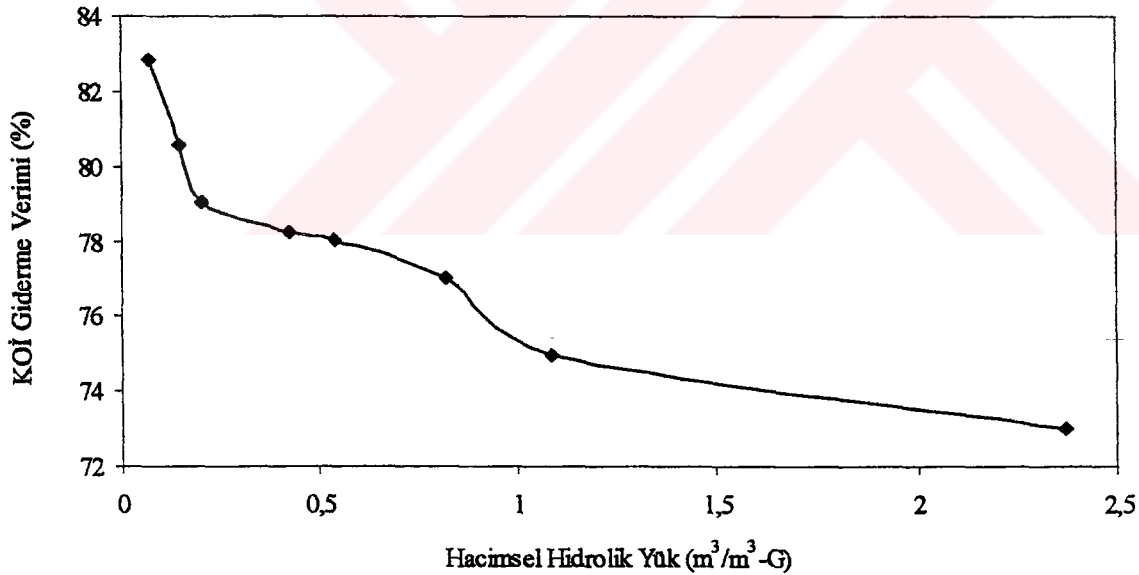
Şekil 5.22. 2.Reaktörde Alıştırma Devresi Boyunca UAKM Konsantrasyonunun Reaktör Yüksekliği İle Değişimi

Uygulanan farklı hacimsel hidrolik yüklerde elde edilen KOİ giderme verimleri 2.Reaktör için Tablo 5.11’de verilmiştir.

Tablo 5.11. 2.Reaktörde Farklı Hacimsel Hidrolik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri

Debi (ml/s)	Hacimsel Hidrolik Yük ($\text{m}^3/\text{m}^3\text{-G}$)	Giriş KOİ (mg/L)	Çıkış KOİ (mg/L)	KOİ giderme verimi (%)
0.008	0.069	12000	2060	82.83
0.017	0.147	12080	2350	80.54
0.023	0.199	11870	2490	79.02
0.049	0.423	12140	2640	78.25
0.062	0.536	12430	2730	78.04
0.095	0.821	10800	2480	77.04
0.126	1.088	11910	2980	74.98
0.274	2.367	12140	3250	73.03

2.Reaktörde hacimsel hidrolik yük ile KOİ giderme verimi arasındaki ilişki Şekil 5.23’de verilmiştir.



Şekil 5.23. 2.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki İlişki

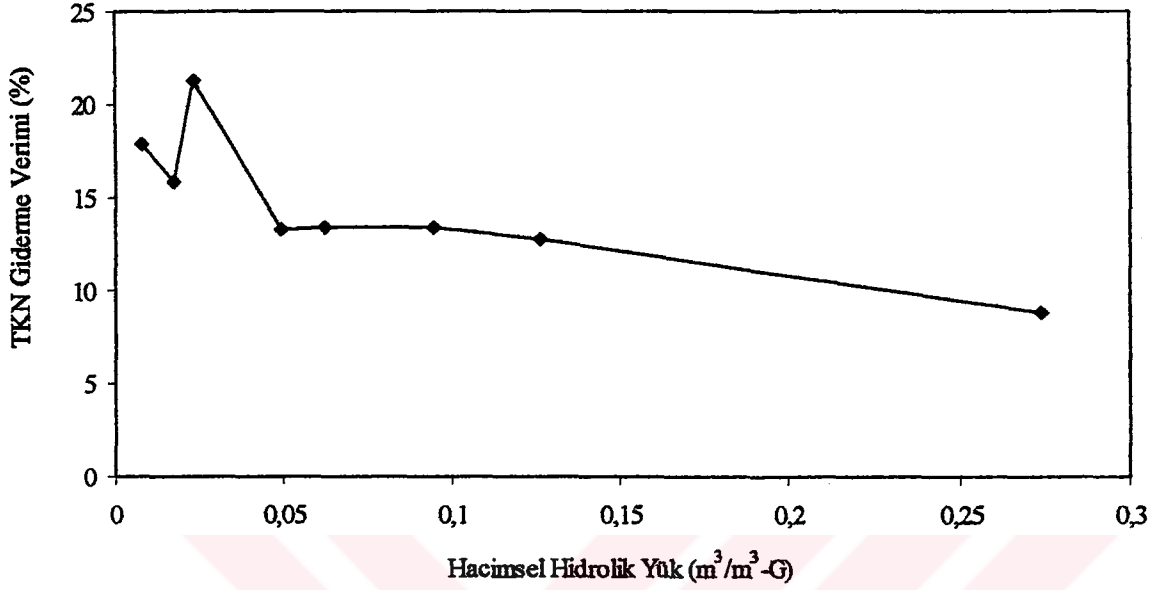
2.Reaktörde de hacimsel hidrolik yük arttıkça, KOİ giderme veriminde azalmalar olmuştur. Örneğin 2.Reaktörde hacimsel hidrolik yük $0.069 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-G}$ iken KOİ giderme verimi % 82.83 olduğu halde, hacimsel hidrolik yük $2.367 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-G}$ ’e çıkarıldığı zaman verim % 73.03’e düşmüştür.

Farklı hacimsel hidrolik yüklerde reaktörün giriş ve çıkışlarından alınan numunelerde pH, TKN, TP, alkalinite, TKM, UKM ve AKM analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu elde edilen veriler 2.Reaktör için Tablo 5.12’de verilmiştir.

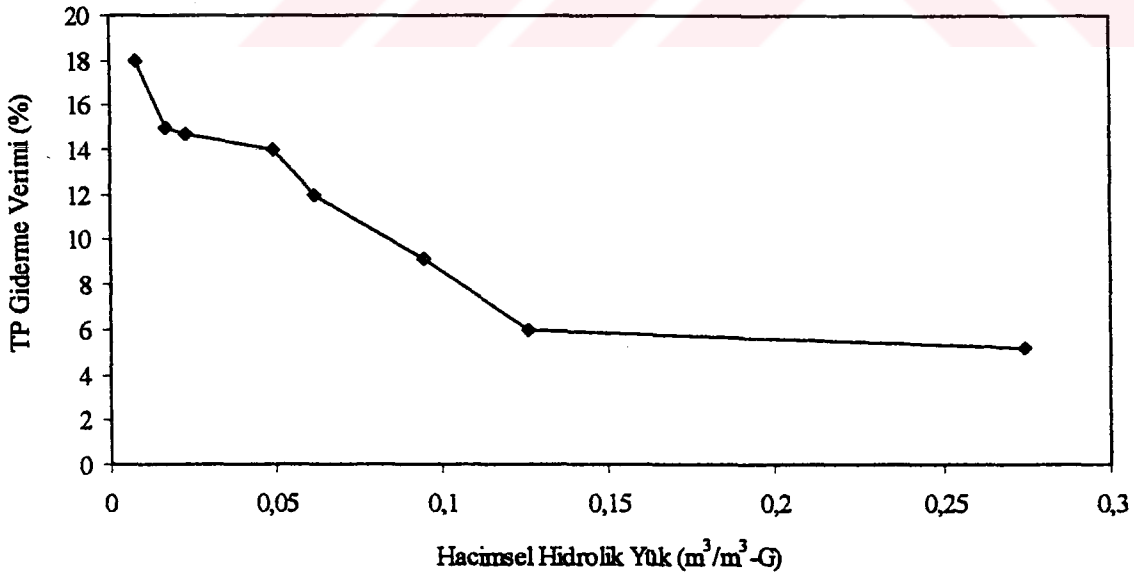
Tablo 5.12. 2.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yüke Göre Çeşitli Parametreler İçin Arıtma Verimleri

Hacimsel Hidrolik Yük (m ³ /m ³ -G)		0.008	0.017	0.023	0.049	0.062	0.095	0.126	0.274
pH	Giriş	7.46	7.79	7.43	6.95	7.26	7.82	7.66	7.54
	Çıkış	7.08	6.98	6.85	6.37	6.80	7.24	7.04	7.18
TKN (mg/L)	Giriş	358	327	296	369	374	268	346	284
	Çıkış	294	275	233	320	328	232	302	259
	Verim (%)	17.88	15.90	21.28	13.28	13.43	13.43	12.72	8.80
TP (mg/L)	Giriş	89.54	93.78	108.46	87.64	77.49	83.57	96.44	98.79
	Çıkış	73.42	79.72	92.52	75.38	68.21	75.94	90.42	93.62
	Verim (%)	18.00	14.99	14.70	13.99	11.98	9.13	6.03	5.23
Alkalinite	Giriş	1510	1870	1610	1240	1460	1760	1680	1590
	Çıkış	590	750	880	720	910	1080	1240	1310
	Verim (%)	60.93	59.89	45.34	41.94	37.67	38.64	26.19	17.61
TKM (mg/L)	Giriş	6846	6137	6952	7018	6245	5974	5866	6243
	Çıkış	1094	1148	1397	1412	1562	1495	1641	2016
	Verim (%)	84.02	81.29	79.91	79.88	74.99	74.97	72.03	67.71
UKM (mg/L)	Giriş	4127	3948	4357	4812	4150	3874	3945	4016
	Çıkış	622	732	915	1209	1196	1085	1264	1478
	Verim (%)	84.93	81.46	79.00	74.88	71.18	71.99	67.96	63.20
AKM (mg/L)	Giriş	3896	3452	4154	4349	3398	3276	3192	3751
	Çıkış	567	588	829	968	814	752	867	1318
	Verim (%)	85.45	82.97	80.04	77.74	76.04	77.05	72.84	64.86

2.Reaktörde hacimsel hidrolik yük ile TKN ve TP giderme verimleri arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’de verilmiştir.



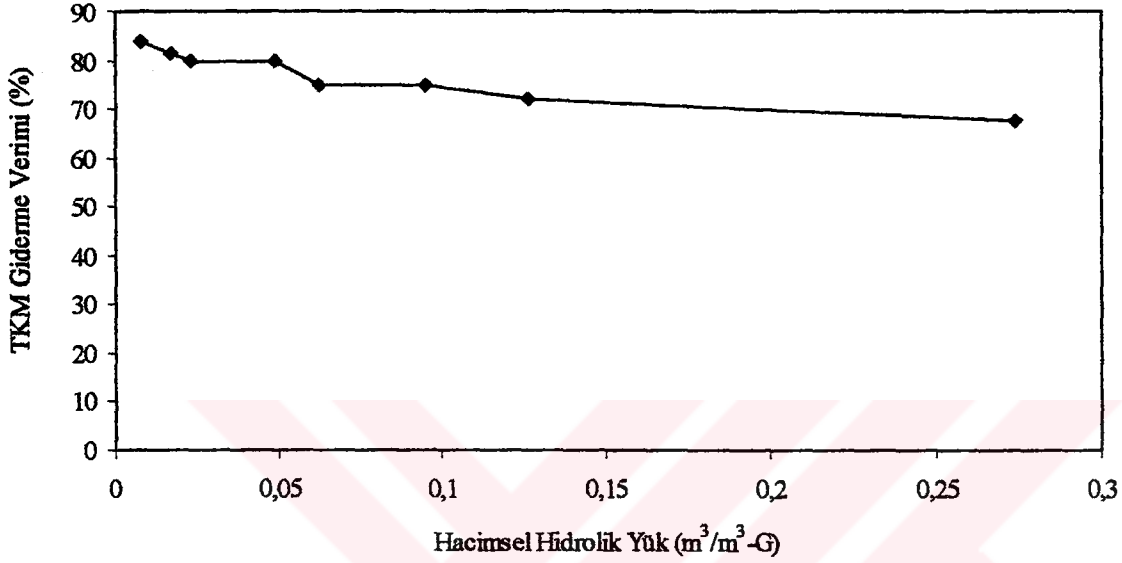
Şekil 5.24. 2.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TKN Giderme Verimi Arasındaki İlişki



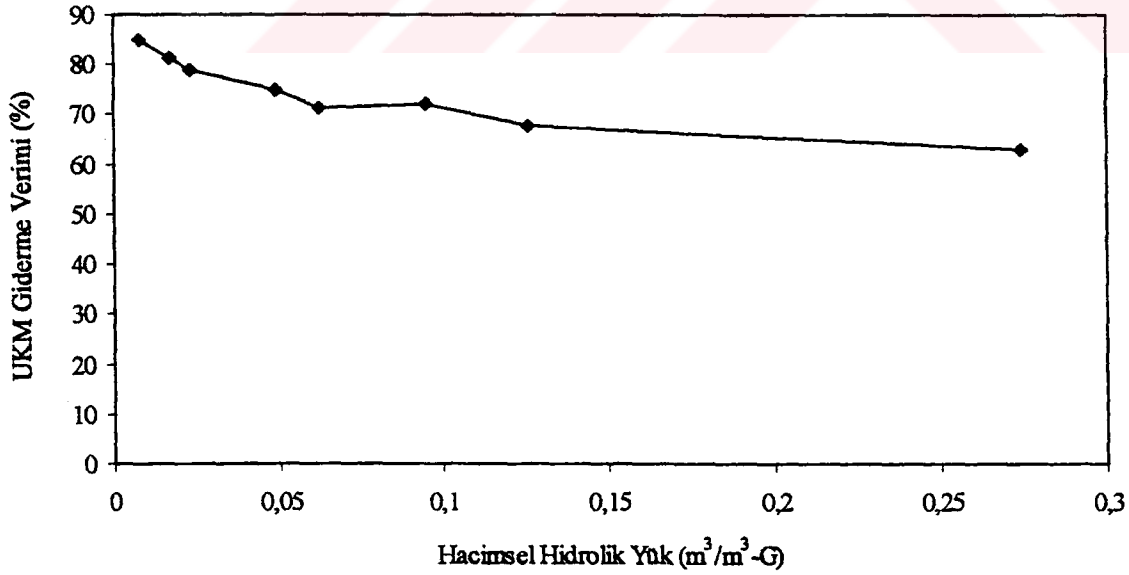
Şekil 5.25. 2.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TP Giderme Verimi Arasındaki İlişki

2.Reaktörde en yüksek azot giderimi (%21.28), $0.023 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-G}$ hacimsel hidrolik yük değerinde ve en yüksek fosfor giderimi (%18.00) ise $0.008 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-G}$ hacimsel hidrolik yük değerinde gerçekleşmiştir.

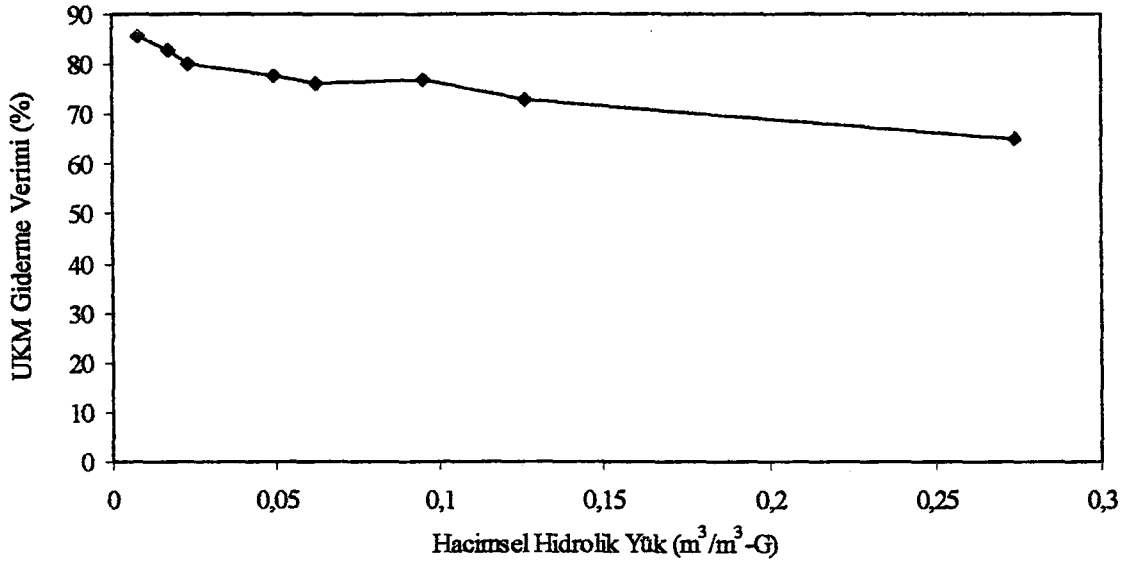
2.Reaktörde hacimsel hidrolik yük ile TKM, UKM ve AKM giderme verimleri arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 5.26, Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de verilmiştir.



Şekil 5.26. 2.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle TKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki



Şekil 5.27. 2.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle UKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki



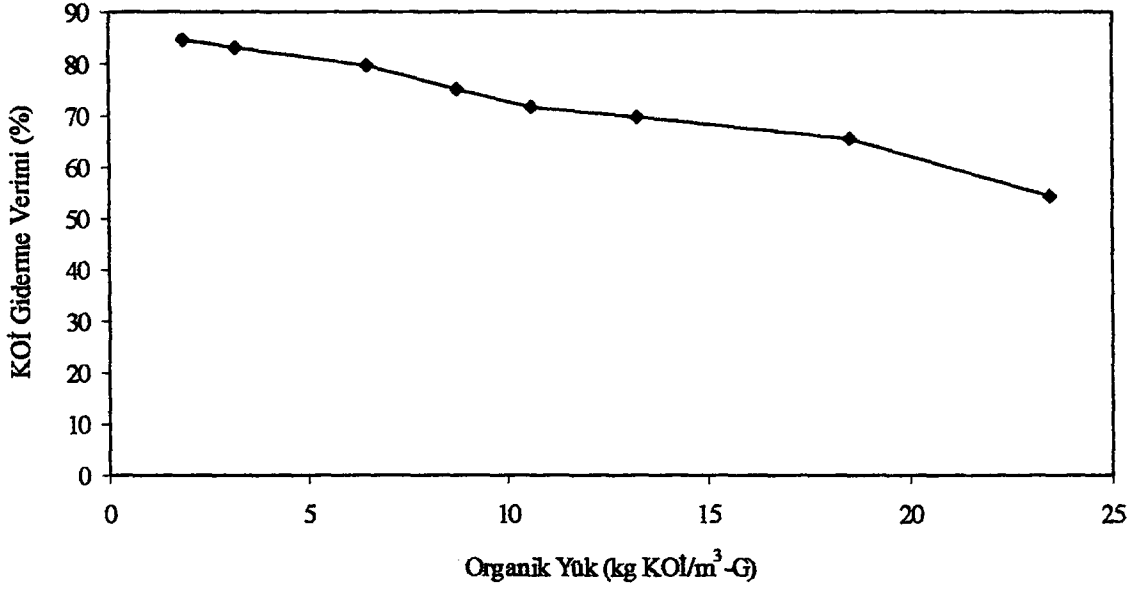
Şekil 5.28. 2.Reaktörde Hacimsel Hidrolik Yük İle AKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki

Her iki reaktöre farklı hidrolik bekleme sürelerinde giderek artan şekilde organik yük uygulanarak, sistemin KOİ giderme verimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar 2.Reaktör için Tablo 5.13’de verilmiştir.

Tablo 5.13. 2.Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri (HBS = 5 Gün)

Uygulanan Organik Yük (kg KOİ / m^3-G)	KOİ Giderme Verimi (%)
1.86	84.52
3.14	83.17
6.48	79.46
8.77	75.15
10.62	71.48
13.27	69.61
18.49	65.54
23.46	54.17

2.Reaktörde uygulanan organik yük ile KOİ giderme verimi arasındaki ilişki Şekil 5.29’da verilmiştir.



Şekil 5.29. 2.Reaktörde Organik Yük İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki İlişki

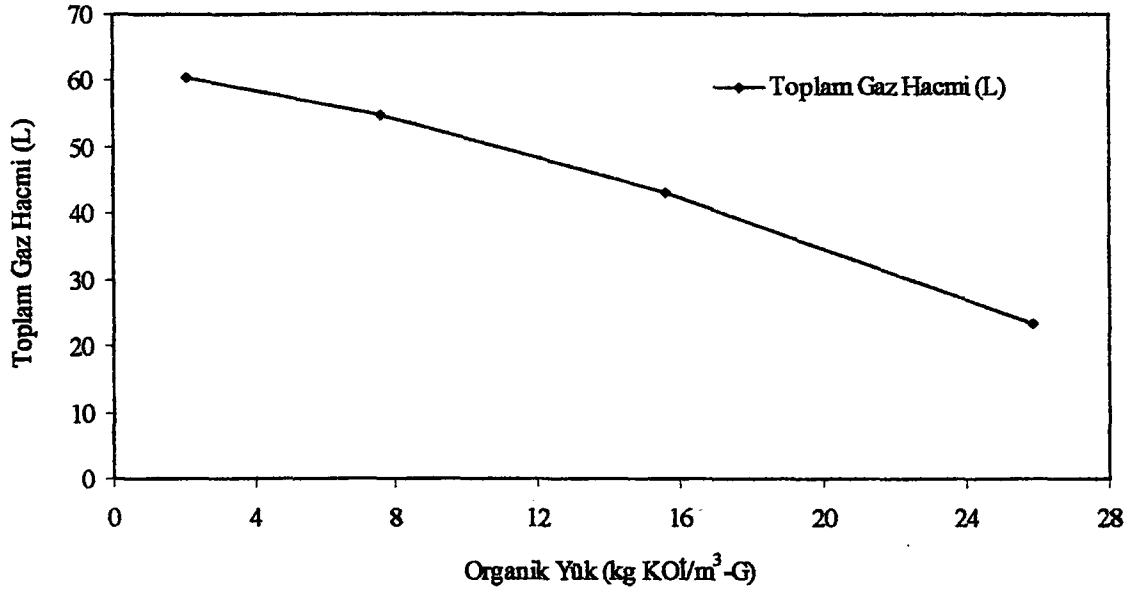
2.Reaktörde 5 günlük hidrolik bekleme süresinde, başlangıçtaki 1.86 kg KOİ / m³-G organik yük değerinde KOİ giderme verimi %84.52 olmuştur. Organik yük arttıkça verim giderek azalmış ve 23.46 kg KOİ / m³-G organik yük değerinde %54.17'ye kadar düşmüştür.

2.Reaktörde uygulanan farklı organik yüklerde oluşan toplam gaz miktarı Tablo 5.14'de verilmiştir.

Tablo 5.14. 2.Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen KOİ Giderme Verimi ve Oluşan Toplam Gaz Miktarı

Uygulanan Organik Yük (kg KOİ / m ³ -G)	KOI Giderme Verimi (%)	Toplam Gaz Hacmi (L)
2.12	84.47	60.28
7.58	81.16	54.67
15.64	70.43	43.21
25.85	55.24	23.45

2.Reaktörde organik yük ile oluşan toplam gaz hacmi arasındaki ilişki Şekil 5.30'da verilmiştir.



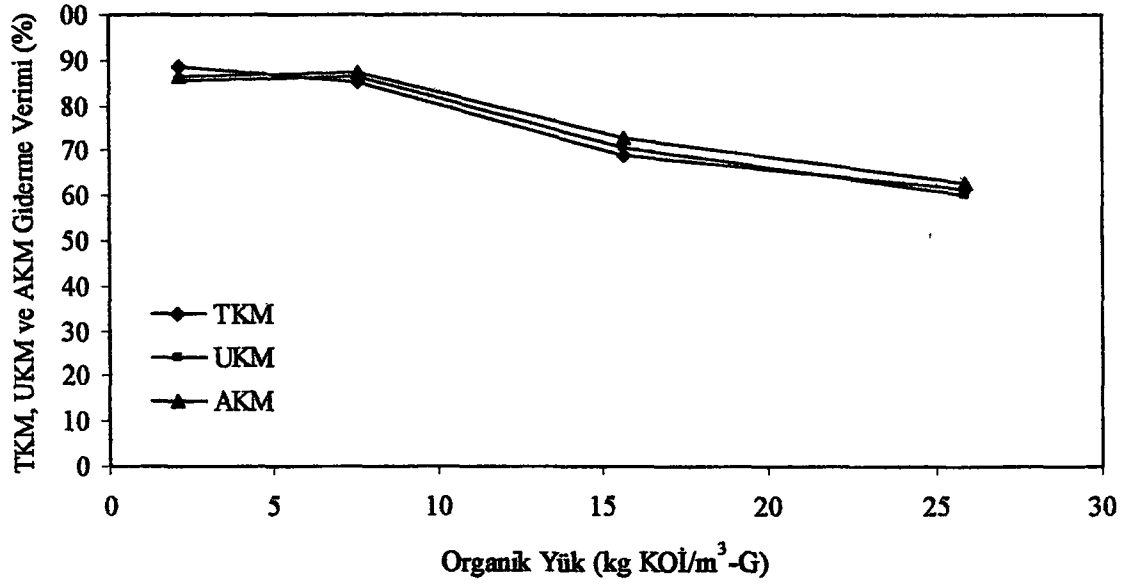
Şekil 5.30. 2.Reaktörde Organik Yük İle Toplam Gaz Miktarı Arasındaki İlişki

2.Reaktörde uygulanan farklı organik yüklerde elde edilen TKM, UKM ve AKM giderme verimleri Tablo 5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.15. 2.Reaktörde Farklı Organik Yüklerde Elde Edilen TKM, UKM ve AKM Giderme Verimleri

Uygulanan Organik Yük (kg KOİ / m³-G)	TKM (mg/L)	UKM (mg/L)	AKM (mg/L)
2.12	88.48	85.57	86.22
7.58	85.12	86.36	87.44
15.64	68.95	70.51	72.98
25.85	61.57	60.08	62.57

2.Reaktörde uygulanan organik yük ile TKM, UKM ve AKM giderme verimleri arasındaki ilişki Şekil 5.31'de verilmiştir.



Şekil 5.31. 2.Reaktörde Organik Yük İle TKM, UKM ve AKM Giderme Verimleri Arasındaki İlişki

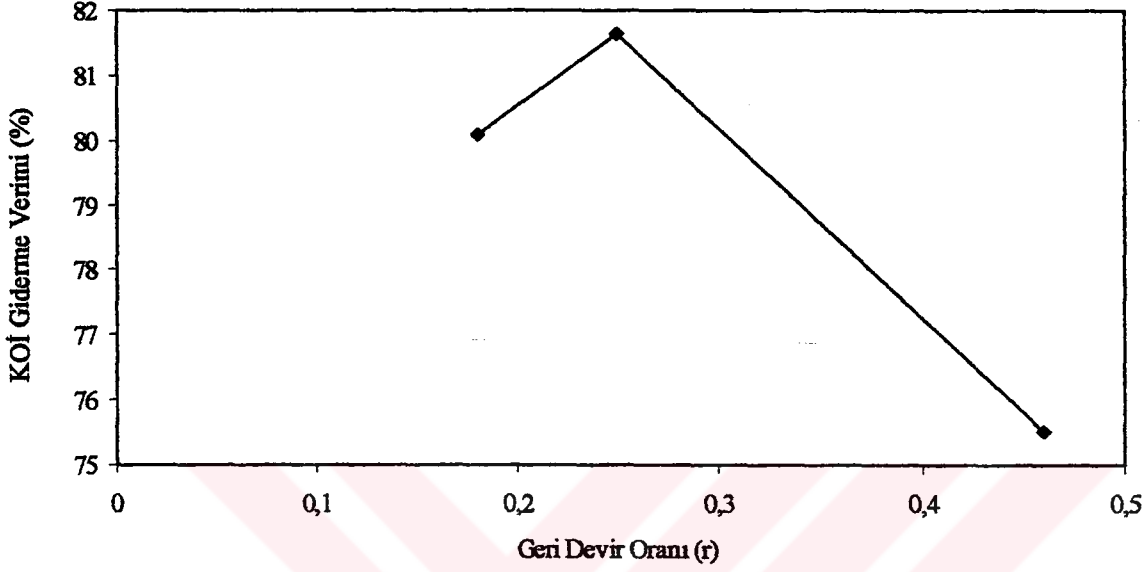
2.Reaktörde elde edilen gaz miktarı (60.28 L) ve TKM giderme verimi (%88.48), 2.12 kg KOI/m³-G organik yük değerinde en fazla olurken, UKM ve AKM giderme verimi 7.58 kg KOI/m³-G organik yük değerinde fazla olmuştur. Ancak genelde organik yük arttıkça elde edilen gaz miktarı ile TKM, UKM ve AKM giderme verimi azalmıştır.

2.Reaktörde farklı geri devir oranlarında elde edilen KOİ giderme verimleri Tablo 5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.16. 2.Reaktörde Farklı Geri Devir Oranlarında Elde Edilen KOİ Giderme Verimleri

$r = Q_r/Q$	Giriş KOİ (mg/L)	Çıkış KOİ (mg/L)	KOİ Giderme Verimi (%)
0.18	15100	3010	80.07
0.25	14920	2740	81.64
0.46	15080	3690	75.53

2.Reaktör'ye ilk olarak uygulanan $r = 0.18$ geri devir oranında verim % 80.07 olmuştur. Ancak geri devir oranı artırıldıkça 1.Reaktör'e benzer şekilde verimin düştüğü gözlenmiştir. 2.Reaktörde geri devir oranı ile KOİ giderme verimi arasındaki ilişki Şekil 5.32'de verilmiştir.



Şekil 5.32. 2.Reaktörde Geri Devir Oranı İle KOİ Giderme Verimi Arasındaki İlişki

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, yüksek miktarda organik madde içeren atıksuların havasız çamur yataklı reaktörlerde arıtımı incelenmiştir. Reaktörlerin her biri farklı hacimsel hidrolik yüklerde ve farklı organik yüklerde çalıştırılarak, bu parametrelerin sistem verimine etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda farklı organik yüklerde elde edilen gaz miktarı ile sistemin katı madde giderme verimi incelenerek, gaz-katı-sıvı ayırımının iyi şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Reaktörler işletmeye alınmadan önce belirli bir süre alıştırma devresinde tutulmuştur. Böylece aşı çamurunda bulunan mikroorganizmaların ortam şartlarına adapte olmaları sağlanmıştır. Alıştırma devresinde, her iki reaktörün yükseklikleri boyunca yerleştirilmiş bulunan numune alma musluklarından alınan numunelerde pH, alkalinite, TAKM ve UAKM analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, TAKM ve UAKM konsantrasyonunun reaktörün alt kısmından yukarıya doğru azaldığı görülmektedir. 1. Reaktörde 3.haftada alttaki numune alma musluğunda TAKM ve UAKM konsantrasyonu sırasıyla 18940 mg/L ve 16533 mg/L iken, üstteki numune alma musluğunda 6817 mg/L ve 3487 mg/L olmuştur. Benzer durum 2. Reaktörde de gözlenmiştir.

Reaktörler alıştırma devresinden sonra işletmeye alınmıştır. İşletme devresinde farklı hacimsel hidrolik yük, farklı organik yük ve farklı hidrolik bekletme süreleri uygulanarak sistemin bu parametreler altında verimi incelenmiştir. Reaktörlerin farklı hacimsel hidrolik yüklerde verimi incelendiği zaman, hacimsel hidrolik yük attıkça verimin düştüğü gözlenmiştir. 1.Reaktörde hacimsel hidrolik yük $0.121 \text{ m}^3 / \text{m}^3\text{-G}$ iken KOİ giderme verimi %84.75 olduğu halde, hacimsel hidrolik yük $2.713 \text{ m}^3 / \text{m}^3\text{-G}$ değerine çıkarıldığı zaman verim %74.27'e düşmüştür. Benzer şekilde 2.Reaktörde hacimsel hidrolik yük $0.069 \text{ m}^3 / \text{m}^3\text{-G}$ iken KOİ giderme verimi %79.58 iken, $2.367 \text{ m}^3 / \text{m}^3\text{-G}$ hacimsel hidrolik yük değerinde verim %66.56 olmuştur. Bu durumda sistemin düşük hacimsel hidrolik yüklerde çalıştırılması uygun olacaktır.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde arıtma veriminin, kullanılan atıksuyun bileşimine bağlı olduğu görülmüştür. 1.Reaktörde KOİ'si 8000 mg/L olan atıksu ile $0.121 \text{ m}^3 / \text{m}^3\text{-G}$ hacimsel hidrolik yükte %84.75 KOİ giderme verimi elde edilirken,

2.Reaktörde KOİ'si 12000 mg/L olan atıksu ile $0.069 \text{ m}^3 / \text{m}^3\text{-G}$ hacimsel hidrolik yükte KOİ giderme verimi %82.83 olmuştur.

Reaktörlerin farklı hacimsel hidrolik yüklerde, toplam kjeldahl azotu ve toplam fosfor uzaklaştırma verimleri incelenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında verimin çok düşük olduğu görülmektedir. 1.Reaktörde en yüksek azot giderme verimi %20.74, en yüksek fosfor giderme verimi ise %22.48 olmuştur. 2.Reaktörde ise en yüksek azot giderme verimi %21.28 en yüksek fosfor giderme verimi ise %18.00 olmuştur. Bu nedenle havasız çamur yataklı reaktörlerin çıkışında, azot ve fosforu gidermek amacıyla ilave sistemler yapılmalıdır.

Reaktörlerde farklı organik yüklerde sistemin KOİ giderme verimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, organik yük attıkça KOİ giderme veriminin düştüğü gözlenmiştir. 1.Reaktörde 3 günlük hidrolik bekletme süresinde $1.27 \text{ kg KOİ} / \text{m}^3\text{-G}$ organik yük değerinde % 81.79, 2.Reaktörde 5 günlük hidrolik bekletme süresinde $1.86 \text{ kg KOİ} / \text{m}^3\text{-G}$ değerinde % 84.52 KOİ giderme verimi elde edilmiştir. Organik yüke ilave olarak hidrolik bekletme süresi de KOİ giderme verimi üzerinde etkili olmuştur. Reaktörlere yaklaşık olarak aynı organik yük uygulandığında hidrolik bekletme süresi uzun olan reaktörde daha fazla verim elde edilmiştir.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde, yüksek organik madde içeren atıksuların arıtımında yüksek verim elde edildiği halde, reaktörlerin çıkış suyunun yüzeysel sular için deşarj standartlarını sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle havasız çamur yataklı reaktörlerde arıtım bir ön arıtım olarak düşünülebilir.

Çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlara baktığımızda 1.Reaktörde 8000 mg/L KOİ ile %84.75, 2.Reaktörde ise 12000 mg/L KOİ ile %82.83 KOİ giderme verimleri elde edilmiştir. Ancak bu yüksek verime rağmen çıkış suyunun KOİ'si hala yüksektir. 1.Reaktörün çıkış suyunun KOİ'si 1220 mg/L olurken, 2.Reaktörün ise 2060 mg/L olmuştur. Yüksek miktarda organik madde içeren atıksuların iki kademeli (havasız/havalı) sistemlerle arıtılması uygun olacaktır. Bu amaç için havasız çamur yataklı reaktörde arıtımı takiben, ikinci kademede aktif çamur sistemleri kullanılabilir.

Havasız çamur yataklı reaktörlerin ikisinde de TKM, UKM ve AKM giderme verimleri, düşük hacimsel hidrolik yüklerde, yüksek olmuştur. Hacimsel hidrolik yük arttıkça reaktörlerde verim düşmüştür. Bu düşüş 1.Reaktörde TKM için % 17.63, UKM

için % 13.72 ve AKM için % 17.38 olmuştur. 2.Reaktörde TKM için %19.41, UKM için % 25.59 ve AKM için % 24.10 olmuştur. Yüksek miktarda AKM içeren atıksuların arıtımında hacimsel hidrolik yükün yüksek tutulması gerektiğinde, atıksuyun havasız çamur yataklı reaktöre verilmeden önce çökeltilmesi, sistemin AKM giderme veriminin artmasına yardımcı olacaktır.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde, yüksek hızlı bir arıtım elde edilmesi için, gaz-katı-sıvı birbirinden iyi şekilde ayrılmalıdır. Bu amaçla, yapılan bu çalışmada çeşitli organik yük değerlerinde elde edilen gaz miktarına ilave olarak sistemin TKM, UKM ve AKM giderme verimi incelenmiştir. 1.Reaktörde elde edilen gaz miktarı, 1.49 kg KOİ/m³-G organik yük değerinde en fazla olmuştur. Aynı organik yük değerinde TKM, UKM ve AKM giderme verimleri de en yüksek değerlerinde olmuştur. 2.Reaktörde ise elde edilen gaz miktarı 2.12 kg KOİ/m³-G organik yük değerinde en fazla olmuştur. En yüksek TKM giderme verimi aynı organik yük değerinde elde edilirken, en yüksek UKM ve AKM giderme verimleri 7.58 kg KOİ/m³-G organik yük değerinde elde edilmiştir.

Havasız çamur yataklı reaktörlerde, arıtma verimi üzerinde geri devirin etkisini incelemek amacıyla, her iki reaktörde çıkış suyu belirli oranlarda geri devrettirilmiştir. Geri devir, yüksek organik madde içeren giriş suyunun seyrelmesini sağlayarak arıtma verimini arttırmıştır. 1. Reaktörde en yüksek verim 0.38 geri devir oranında elde edilirken, 2. Reaktörde 0.25 geri devir oranında elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Ahn, Y., Min, K. And Speece, R., 2001, Pre-acidification in anaerobic sludge bed process treating brewery wastewater, *Water Research*, Vol. 35, No.18, pp. 4267-4276.
- Annachhatre, A.P. and Amatya, P.L., 2000, UASB treatment of tapioca starch wastewater, *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 126, No.12, pp. 1149-1152.
- APHA, AWWA, WPCF, 1989, Standard methods for examination of water and wastewater, American Public Health Association, USA.
- Borja, R., Banks, C.J. and Wang, Z., 1994, Performance and kinetics on UASB reactor treating slaughterhouse wastewater, *Journal of Environmental Science and Health Part A- Environmental Science and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control*, Vol. 29, No.10, pp. 2063-2085.
- Buisman, C., Post, R., Geraats, G. And Lettinga, G., 1989, Biotechnological process for sulphide with sulphur reclamation, *Acta Biotechnologica*, Vol. 9, No. 3, pp.255-267.
- Elefsiniotis, P., Wareham, D.G. and Oldham, N.K., 1996, Particulate organic carbon solubilization in an acid-phase UASB system, *Environmental Science and Technology*, Vol.30, No.5, pp.1508-1514.
- Ergüder, T. H., Tezel, U., Güven, E. Ve Demirer, G. N., 2001, Anaerobic transformation and methane generation potential of cheese whey in batch and UASB reactors, *Waste Management*, Vol. 21, No. 7, pp. 643-650.
- Fang, H.H.P. and Chui, H.K., 1993, Maximum COD loading capacity in UASB reactors at 37-degrees-C, *Journal of Environmental Engineering*, Vol.119, No.1, pp.103-119.
- Fang, H.H.P. and Chui, H.K., 1994, Comparison of start-up performance of four anaerobic reactors for the treatment of high-strength wastewater, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol.11, No.4, pp.123-128.

- Fang, H.H.P., Li, Y.Y. and Chui, H.K., 1995a, UASB treatment of wastewaters with concentrated mixed VFA, *Journal of Environmental Engineering*, Vol.121, No.2, pp. 153-160.
- Fang, H.H.P., Li, Y.Y. and Chui, H.K., 1995b, Microstructural analysis of UASB granules treating brewery wastewater, *Water Science and Technology*, Vol. 31, No.9, pp.129-135.
- Fang, H.H.P., Chui, H.K., Li, Y.Y and Chen, T., 1994, Performance and granule characteristic of UASB process treating wastewater with hydrolyzed proteins, *Water Science and Technology*, Vol. 30, No.8, pp.55-63.
- Fernandez, J. M., Omil, F., Mendez, R. and Lema, J. M., 2001, Anaerobic treatment of fibreboard manufacturing wastewaters in a pilot scale hybrid usbf reactor, *Water Research*, Vol. 35, No. 17, pp. 4150-4158.
- Goodwin, J.A.S., Wase, D.A.J. and Forster, C.F., 1992, Pre-granulated seeds for UASB reactors-how necessary are they, *Bioresource Technology*, Vol.41, No.1, pp.71-79.
- Haandel, A. C., 1994, Influence of the digested COD concentration alkalinity requirement in anaerobic digesters, *Water Science and Technology*, Vol. 30, No.8, pp.23-34.
- Habets, L.H.A., 1986, Experience with full-scale and pilot scale biopaq UASB anaerobic treatment of pulp-, paper- and boardmill effluents, in anaerobic treatment: A Grown-Up Technology, *Proc. EWPCA Conf. On Anaerobic Treatment*, September, Amsterdam, the Netherlands, pp.331-346.
- Henze, M. and Harremoes, P., 1983, Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactors- A Literature Review, *Water Science and Technology*, Vol. 15, No: 8/9, pp.1-101.
- Hickey, R. F., Wu, W. M., Veiga, M. C. and Jones, R., 1991, Start-up, operation, monitoring and control of high-rate anaerobic treatment systems, *Water Science and Technology*, Vol. 24, No.8, pp.213-225.
- Hulshoff Pol, L.W. and Dolfing, J., (1984), Pellatization of anaerobic sludge in UASB reactors on sucrose containing wastewater, *Current Perspective in*

Microbial Ecology: Proceedings of the 3rd Int. Symp. On Microbial Ecology, USA.

- Kanat, G., 1997, Effect of alkalinity on volatile acid concentrations and performance of the anaerobic reactor, Proceedings of International Conference on Water Problems in the Mediterranean Countries, Vol 1.
- Kennedy, K. J. and Lentz, E. M., 2000, Treatment of landfill leachate using sequencing batch and continuous flow upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors, Vol 34, No 14, pp. 3640-3656.
- Kwong, T. S.K. and Fang, H.H.P., 1996, Anaerobic degradation of cornstarch in wastewater in two upflow reactors, Journal of Environmental Engineering, Vol. 122, No.1, pp. 9-17
- Lacalle, M. L., Villaverde, S., Fdz- Polanco, F. and García-Encina, P. A., 2001, Combined anaerobic/aerobic (UASB+UBAF) system for organic matter and nitrogen removal from a high strength industrial wastewater, Water Science and Technology, Vol. 44, No 4, pp.
- Lay, J.J. and Cheng, S.S., 1998, Influence of hydraulic loading rate on UASB reactor treating phenolic wastewater, Journal of Environmental Engineering, Vol. 124, No.9, pp. 829-837.
- Lettinga, G., Grin, P.C., Roersma, R.E. and Hobma, S.W., 1984, High,rate anaerobic waste-water treatment using the UASB reactor under a wide range of temperature conditions, Biotech. Genetic Eng. Rev., 2:253.
- Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L.W., 1991, UASB-process design for various types of wastewaters, Water Science and Technology, Vol.24, No.8, pp.87-107.
- Lettinga, G.,1995, Anaerobic digestion and waste-water treatment systems, Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology, Vol.67, No.1, pp.3-28.
- Li, Y.Y., Fang, H.H.P., Chen T. and Chui, H.K., 1995, UASB treatment of wastewaters containing concentrated benzoate, journal of Environmental Engineering, ASCE, Vol.121, No.10, pp. 748-751.

- Lier, J. B., Rebac, S. and Lettinga, G., 1997, High-rate anaerobic treatment under psychrophilic and thermophilic conditions, *Water Science and Technology*, Vol. 35, No 10, pp.199-206.
- Lin, C. Y. and Chen, C. C., 1999, Effect of heavy metals on the methanogenic UASB granule, *Water Research*, Vol 33, No. 2, pp.409-416.
- Lin, C. Y., Chang, F. Y. and Chang, C. H., 2001, Toxic effect of sulfur compounds on anaerobic biogranule, *Journal of Hazardous Materials*, Vol 87, No 1-3, pp. 11-21.
- Macki, R.I. and Bryant, M.P., 1981, Metabolic activity of fatty acid-oxidizing bacteria and the contribution of acetate, propionate, butyrate and CO₂ to methanogenesis in cattle waste at 40 and 60 °C, *Applied Microbiology*, 41, 1363-1373.
- Malina, J.F. and Pohland, F.G., 1992, *Design of Anaerobic Processes for The Treatment of Industrial and Municipal Wastes*, Technomic Publishing Com, Inc, Lancaster, USA.
- Manjunath, N. T., Mehrotra, I. and Mathur, R.P., 2000, Treatment of wastewater from slaughterhouse by DAF-UASB system, *Water Research*, Vol. 34, No. 6, pp.1930-1936.
- Morval, L., Mihaltz, P., Czako, L. and Holla, J., 1991, Application of UASB reactors to industrial wastewater treatment – Performance data and results in granulation control, *Acta Biotechnologica*, Vol.11, No. 5, pp. 409-418.
- Murray, W. D. and van den Berg, L., 1981, Effects of nickel, cobalt and molybdenum on performance of methanogenic fixed-film reactors, *Applied Environmental Microbiology*, Vol 41, pp. 502-505.
- Noyola, A. and Moreno, G., 1994, Granule production from raw waste activated sludge, *Water Science and Technology*, Vol. 30, No. 12, pp. 339-346.
- Öztürk, İ., Çiftçi, T., Alkan, R. Ve Akşit, C., 1993, Ekmek mayası üretimi atıksularının anaerobik-aerobik arıtımı, *Su Kirliliği Kontrolü Dergisi*, Cilt 3, Sayı 1, s.11-17.

- Öztürk, İ., Ubay, G. ve Ubay E., 1994, Evsel nitelikli atıksuların havasız olarak arıtılabilirliği ve proses kinetiğinin araştırılması, Tr.J. Engineering and Environmental Sciences, Vol.18, No.2, pp. 175-183.
- Öztürk, İ., 1999, Havasız biyoteknoloji ve atık arıtımındaki uygulamaları, İ.T.Ü. İnş. Fak. Çevre Müh.Böl., İstanbul.
- Paula, D.R. and Foresti, E., 1992, Kinetic studies on a UASB reactor subjected to increasing COD concentration, Water Science and Technology, Vol .25, No.7, pp.103-111.
- Price, E.C. and Cheremisinoff, P.N., 1981, Biogas production and utilization, Ann Arbor Science.
- Salminen, E. and Rintala, J., 2002, Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste- a review, Bioresource Technology, 83, pp. 13-26.
- Sousa, J.T. and Foresti, E., 1996, Domestic sewage treatment in an upflow anaerobic sludge blanket-sequencing batch reactor system, Water Science and Technology, Vol. 33, No.3, pp.73-84.
- Speece, R.E., 1996, Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters, Vanderbilt University, USA.
- Tay, J.H. and Yan, Y.G., 1997, Anaerobic biogranulation as microbial response to substrate adequacy, Journal of Environmental Engineering, Vol. 123, No.10, pp. 1002-1010.
- Tay, J.H. and Zhang, X., 2000, Stability of high rate anaerobic systems. I: Performance under shocks, Journal of Environmental Engineering, Vol. 126, No.8, pp. 713-725.
- Tilche, A. and Vieira, S.M.M., 1991, Discussion report on reactor design of anaerobic filters and sludge bed reactors, Water Science and Technology, Vol. 24, No.8, pp.193-206.
- Toprak, H., 1996, Atıksu arıtma sistemlerinin tasarım esasları, Cilt II, 2.Baskı, D.E.Ü. Müh. Fak. Yay., No: 241, İzmir
- Tüfekçi, N. ve Kınacı, C., 1992, Havasız çamur yataklı reaktörlerde işletmeye alma ve çamur granülasyonu, Su Kirliliği Kontrolü Dergisi, Cilt 2, Sayı 3, s.113-118.

- Uğurlu, A., 1995, Anaerobik arıtma sistemleri, Çevre ve Mühendis, Yıl 3, Sayı 6, s.19-22.
- Villaverde, S., Lacalle, M. L., García-Encina, P. A. and Fdz-Polanco, F., 2001, Nitrification-denitrification of UASB effluents highly loaded with nitrogen in an activated sludge reactor operated with short cycled aeration, Water Science and Technology, Vol. 44, No 4, pp.279-286.
- Weiland, P. and Rozzi, A., 1991, The start-up, operation and monitoring of high-rate anaerobic treatment systems: discussers' reports, Water Science and Technology, Vol. 24, No.8, pp.257-277.
- Yamaguchi, T., Harada, H., Hisano, T., Yamazaki, S. And Tseng, I., 1999, Process behaviour of UASB reactor treating a wastewater containing high strength sulfate, Water Research, Vol. 33, No 14, pp. 3182-3190.
- Yang, G. and Anderson, G. K., 1993, Effects of wastewater composition on stability of UASB, Journal of Environmental Engineering, Vol. 119, No.5, pp.958-977.
- Yenigün, O. ve Demirel, B., 2002, İki fazlı havasız arıtma çürütme proseslerine bir bakış, Çevre Bilimleri, Sayı 5, s.9-18.
- Yoda, M. and Nishimura, S., 1997, Controlling granular sludge floatation in UASB reactors, Water Science and Technology, Vol. 36, No 6-7, pp.165-173.