

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

83934

BİTKİSEL YAĞ SANAYİİ ATIKSULARININ
KARAKTERİZASYONU VE ARITILABİLİRLİĞİ

Yusuf SAATÇİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

1999

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİTKİSEL YAĞ SANAYİİ ATIKSULARININ
KARAKTERİZASYONU VE ARITILABİLİRLİĞİ

Yusuf SAATÇİ

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez, 16/07/1999 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği / Oyçokluğu İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.


(İmza)

Danışman

Prof.Dr. Mehmet CİCİ


(İmza)

Üye

Prof.Dr. Satılmış KAYA


(İmza)

Üye

Yrd.Doç.Dr. Erdal ÖBEK

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

ÖZET**DOKTORA TEZİ****BİTKİSEL YAĞ SANAYİİ ATIKSULARININ
KARAKTERİZASYONU VE ARITILABİLİRLİĞİ****Yusuf SAATÇİ****Fırat Üniversitesi****Fen Bilimleri Enstitüsü****Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı****1999, Sayfa : 84**

Bitkisel yağ sanayi, en önemli sanayi sektörlerinden biridir. Tarımsal endüstrinin bir parçası olarak bitkisel yağ üretimi, çevre kirliliğine önemli düzeyde katkıda bulunmaktadır. Türkiye’de bitkisel yağ sanayii atıksularının arıtımı ve karakterizasyonu üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Fakat bu endüstri tarafından üretilen atıksuların yapısı, miktarı ve atık yükleri ile arıtım alternatifleri yetence incelenmemiştir.

Bu çalışmada, Elazığ’da bulunan Karadeniz Birlik Doğan Erdil Yağ Fabrikası, bu sektörün bir örneği olarak seçilmiştir. Fabrikanın üretim metodu değerlendirilmiş ve fabrika atıksularının karakterizasyonu incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında ayrı ve birleşik ham çıkış sularının kalitesi araştırılmıştır. Pilot ve laboratuvar ölçekli modeller kullanılarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma alternatifleri denenmiştir. Bu çalışmalar esas alınarak arıtma işlemleri ve proseslerin en verimli kombinasyonu belirlenmiştir.

Sonuçlar CHF sisteminde KOİ’nin %17.65-69.12, yağ-gres gideriminin ise % 28.50-76.32 düzeyinde olduğunu göstermiştir. Sonuçlar ayrıca asit ile emülsiyon kırma ve kireç ile koagülasyon prosesinde KOİ ve yağ-gres gideriminin sırası ile % 63.19-80.66 ve % 76.95-83.38 arasında değiştiğini gösterdi. Alum ile koagülasyonda % 88.14-92.99 oranında KOİ ve % 69.89-92.11 oranında yağ-gres giderildiği halde

demir (III) klorür kullanımı ile %. 94.66-96.25 oranında KOİ ve % 93.81-96.16 yağ-gres giderilmiştir. Alum ile koagülasyonda elde edilen arıtma verimi alum-kil kullanımı ile % 94.66-95.37 KOİ ve % 96.88-97.78 yağ-gres değerlerine yükseltildi. Yağ kaparı çıkışından alınan atıksuların CHF-YAHÇY'nda arıtılması ile KOİ ve yağ-gres sırası ile %85-91 ve % 82-88 oranında uzaklaştırıldı.

Sonuç olarak Elazığ'da bulunan Karadeniz Birlik Doğan Erdil Yağ Fabrikası atıksuları yağ kaparı-CHF-YAHÇY-AÇ arıtım zinciri ile arıtıldığında çıkış suyu kalitesi, Türkiye'deki Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nin bitkisel yağ sanayii atıksuları için belirlediği standartlara ulaşabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitkisel yağ sanayi, Atıksu, Arıtım, Yağ kaparı, Çözünmüş hava flotasyonu, Koagülasyon, Aktif çamur, Yukarı akışlı havasız çamur yatağı.



ABSTRACT

PhD Thesis

**TREATMENT AND CHARACTERIZATION OF WASTEWATER
FROM EDIBLE OIL INDUSTRIES**

Yusuf SAATÇI

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

1999, Page : 84

The vegetable oil industry is one of the most important industrial sectors. As a part of the agro-industry vegetable oil production makes a significant contribution to environmental pollution. A lot of studies have been carried out on the characterisation and treatment of vegetable oil production wastes in Turkey, but the quality and quantity, of waste loads and treatment of the wastewater produced by vegetable oil industries have not been studied to a great extent.

In this study Karadeniz Birlik Doğan Erdil Vegetable Oil Factory, Elazığ, was selected as representative of this sector. This method of production has been evaluated and the factory's wastewater has been investigated. During the first part of the test program, quality of combined and separate raw effluents was investigated. Possible physical-chemical and biological treatment alternatives were examined by use of pilot-scale and laboratory models. Under the light of this study the most efficient treatment combination has been determined.

The results showed that 17.65-69.12 % of COD and 28.50-76.32 % oil & grease were removed by use of Dissolved Air Flotation (DAF). The results also showed that 63.19-80.66 % COD and 76.95-83.38 % oil & grease were removed in the acid creaking and coagulation with lime. Although 88.14-92.99 % of COD and 69.89-92.11 % of oil & grease were removed by use of alum, 94.66-96.25 % of COD

and 93.81-96.16 % of oil & grease were removed by use of ferric chloride at the treatment of same wastewater. The treatment efficiency of coagulation with alum process were raised up to range 94.66-95.37 % for COD and 96.88-97.78 % oil & grease by use of alum-clay process.

The COD and oil & grease of the effluent of fat trap were removed to be 85-91 % and 82-88 % respectively by use of DAF-UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).

In conclusion, when the wastewater of Karadeniz Birlik Doğan Erdil Vegetable Oil Factory, Elazığ, was treated by fat trap-DAF-UASB-AS (Activated Sludge) treatment train, the quality of the effluent can reach to the level of standards determined by Turkish Water Pollution Control Regulation.

Key Words : Vegetable oil industry, Wastewater, Treatment, Fat trap, Dissolved air flotation, Coagulation, Activated sludge, Upflow anaerobic sludge blanket.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sürecinde, her türlü bilgi ve desteklerini esirgemeyen, engin tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mehmet CİCİ' ye en içten duygularla teşekkür ederim. Ayrıca, çalışma süresince her türü imkanı sağlayan ve yakın ilgilerini esirgemeyen Karadeniz Birlik Doğan Erdil Yağ Fabrikası personeline, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği personeline ve yağ asitlerinin tayininde laboratuvar imkanlarını esirgemeyen Fen-Edebiyat Fakültesi öğretim üyelerinden Sayın Yrd. Doç. Dr. Vahit KONAR' a ve Laborant Sayın Mehmet ARICI' ya teşekkür ederim.



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Ham Yağ Elde Edilmesinde Ön İşlemler ve Alfa-Lauval Kimyasal Rafinasyon Sistemi Akış Diyagramı.

Şekil 1.2. Yağ Sanayi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Kompleks Arıtım Zinciri.

Şekil 2.1. Yağ Fabrikası Proses Akım Şeması.

Şekil 2.2. Fabrikada Atıksu Oluşturan Birimler ve Atıksu Örnekleme Noktaları.

Şekil 2.3. Yağ Kapanı; (a) Üstten Görünüş, (b) Uzunluğuna Kesit Görünüşü.

Şekil 2.4. Çözünmüş Hava Flotasyon Ünitesinin Şematik Görünümü.

Şekil 2.5. Jar Testi Düzeneği.

Şekil 2.6. Pilot Ölçekli Aktif Çamur Sistemi.

Şekil 2.7. Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yatağı.

Şekil 2.8. Gaz Ölçüm Düzeneği.

Şekil 2.9. Artvin (Yusufeli) Bölgesinden Alınan Kil Numunesinin XRD'daki Yapısal Analizi

Şekil 3.1. Rafineri Ünitesindeki Birimlerden Kaynaklanan Atıksuların Yüzde Dağılımı.

Şekil 3.2. Fabrikada Atıksu Oluşturan Birimler ve Atıksuların Yüzde Dağılımı.

Şekil 3.3. Fabrika Çıkış Suyunda çYağ-gres ile KOİ Konsantrasyonları Arasındaki İlişki.

Şekil 3.4. CHF Sisteminde Atıksuyun pH'ı ile KOİ ve Yağ-Gres Giderme Verimi Arasındaki İlişki.

Şekil 3.5. CHF Sisteminde Atıksuyun pH'ı ile TKM ve AKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki.

Şekil 3.6. Asitlendirilmiş Atıksuların Kireç ile Koagülasyonu Sonucunda Çeşitli pH Değerlerindeki Giderme Verimleri.

Şekil 3.7. Alum Miktarına Bağlı Olarak KOİ ve Yağ-Gres Giderme Verimleri.

Şekil 3.8. Demir (III) Klorür Miktarına Bağlı Olarak KOİ ve Yağ-Gres Giderme Verimleri.

Şekil 3.9. Koagülant Miktarlarına Bağlı Olarak KOİ Giderme Verimleri.

Şekil 3.10. Kullanılan Koagülant Miktarlarına Bağlı Olarak Yağ-Gres Giderme Verimleri.

Şekil 3.11. Alum ile Birlikte 5 g/L Kil Kullanımı Sonucu Elde Edilen Giderme Verimleri.

Şekil 3.12. Deneme Periyodu Boyunca Yarı Kesikli AÇ Sistemi ile Arıtılabilirlik Çalışmalarında KOİ, Yağ-gres ve AKM Konsantrasyonundaki Değişim.

Şekil 3.13. Alıştırma Devresi Boyunca KOİ, TKM ve UKM Giderimi.

Şekil 3.14. Alıştırma Devresinde Günlere Göre Oluşan Toplam Gaz Miktarı.

Şekil 3.15. AÇ Sisteminde 23 Günlük Periyotta Farklı HBS'ndeki [(a=2 gün), (b=1 gün), (c= 0.5 ve 0.25 gün)] KOİ, Yağ-Gres ve AKM Giderme Verimleri.

TABLÖLAR LİSTESİ

- Tablo 1.1.** Ayçiçeği Yağı Fabrikası Rafinasyon Proseslerinin Atıksu Karakteristikleri .
- Tablo 1.2.** Bitkisel Yağ Sanayi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Prosesler ve Arıtma Etkinliği.
- Tablo 2.1.** Gaz Kromatografide Yağ asitlerinin Analizini Yapmak için Optimize Edilen Şartlar.
- Tablo 3.1.** Ekstraksiyon Ünitesi Atıksularının Özellikleri.
- Tablo 3.2.** Sabun Stoğu (1. Seperatör) Atıksularının Özellikleri.
- Tablo 3.3.** Yıkama Suları (2 ve 3. Speratörler) Atıksularının Özellikleri
- Tablo 3.4.** Rafineri Atıksularının Özellikleri.
- Tablo 3.5.** Yağ Asidi Ünitesi (alt faz) Atıksu Özellikleri
- Tablo 3.6.** Kazan Dairesi Atıksularının Özellikleri.
- Tablo 3.7.** Fabrika Çıkışı Atıksu Analiz Sonuçları.
- Tablo 3.8.** Rafineri Ünitesindeki Atıksu Oluşturan Birimler ve Ortalama Atıksu Miktarları.
- Tablo 3.9.** Fabrika Atıksularını Oluşturan Üniteler ve Atıksu Miktarları.
- Tablo 3.10.** Fabrika Çıkış suyunda Yağ-Gres ile KOİ Konsantrasyonları.
- Tablo 3.11.** Yağ Kapanı'nın Arıtma Verimleri.
- Tablo 3.12.** Yağ kapanı Çıkış Atıksularının ÇHF Sistemi İle Arıtılabilirlik Çalışmaları.
- Tablo 3.13.** Asit İle Emülsiyon Kırma ve Kireç ile Çökeltme Çalışmalarında Harcanan Asit ve Kireç Miktarı ile pH'daki değişim.
- Tablo 3.14.** Asitlendirilmiş Atıksularda Kireç ile Yapılan Jar Testi Deneyleri.
- Tablo 3.15.** Farklı Atıksu Örneklerinde Alum [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$] ile Yapılan Jar Testi Sonuçları.
- Tablo 3.16.** Atıksu Örneklerinde Demir (III) Klorür ($FeCl_3 \cdot 6 H_2O$) ile Yapılan Jar Testi Sonuçları.
- Tablo 3.17.** Alum ve Demir (III) Klorür ile Yapılan Koagülasyon Çalışmalarında Arıtılabilirlik Verimleri.
- Tablo 3.18.** Alum ve 5 g Kil Kullanımı ile Yapılan Jar Testi Sonuçları.
- Tablo 3.19.** ÇHF-Yarı Kesikli Beslemeli AÇ Sistemi ile Yapılan Arıtılabilirlik Çalışmaları.
- Tablo 3.20.** Aşı Çamuru ve Seyreltilmiş Numune ile Atıksu Karışımının Karakteristikleri.
- Tablo 3.21.** YAHÇY'da Alıştırma Devresi Boyunca Çeşitli Parametrelerin Giderimi.
- Tablo 3.22.** Alıştırma Devresinde KOİ Giderimi Oluşan Toplam Gaz Hacmi.
- Tablo 3.23.** ÇHF'ndan Geçirilmiş Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (1.62, 2.1 ve 3.15 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.
- Tablo 3.24.** 1.62 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.
- Tablo 3.25.** ÇHF'ndan Geçirilmiş Atıksuların, YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (2.8, 5.6 ve 7.47 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.
- Tablo 3.26.** 2.80 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.
- Tablo 3.27.** ÇHF'ndan Geçirilmiş Atıksuların YAHÇY'nda Organik Yüklerdeki (4, 8 ve 16 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

Tablo 3.28. 4 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi

Tablo 3.29. Yağ Kapanı ile Yüzebilen Yağları Alınmış Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (2.32, 2.9 ve 4.8 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

Tablo 3.30. 2.32 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Tablo 3.31. Yağ Kapanı Çıkışından Alınan Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (4.3, 6.31 ve 9.46 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

Tablo 3.32. 4.3 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Tablo 3.33. Yağ Kapanı Çıkışından Alınan Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (5.33, 8.00 ve 13.33 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

Tablo 3.34. Yağ Kapanı Çıkışından Alınan Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (4.80, 7.20 ve 14.40 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

Tablo 3.35. 7.20 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Tablo 3.36 Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (5.44, 6.80 ve 13.60 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

Tablo 3.37. 5.44 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Tablo 3.38. Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (7.83, 11.75 ve 18.80 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

Tablo 3.39. Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (6.14, 9.56 ve 14.33 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

Tablo 3.40. AÇ Sisteminde Kullanılan (CHF-YAHÇY Çıkış Suyu) Atıksuyun Karakteristiği.

Tablo 3.41. Kesikli AÇ Sisteminde 15 Günlük Periyotta Arıtma Verimleri.

Tablo 3.42. Sürekli Beslemeli Aktif Çamur Sisteminde 23 Günlük Periyotta Arıtma Verimleri.

Tablo 3.43. AÇ Sisteminde Ortalama KOİ, Yağ-Gres ve AKM Giderimi.

Tablo 3.44. YAHÇY (HBS=2 gün)-AÇ Sistemi (HBS=1 gün)'nde Arıtılabilirlik Çalışmaları.

Tablo 3.45. YAHÇY (HBS=1 gün)-AÇ Sistemi (HBS=1 gün)'nde Arıtılabilirlik Çalışmaları.

Tablo 3.46. YAHÇY (HBS=2.5 gün)-AÇ Sistemi (HBS=1 gün)'nde Arıtılabilirlik Çalışmaları.

Tablo 3.47. YAHÇY (HBS=2.20 gün)-AÇ Sistemi (HBS=1 gün)'nde Arıtılabilirlik Çalışmaları.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR	V
ŞEKİLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
İÇİNDEKİLER	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Bitkisel Yağların Üretimi	3
1.2. Bitkisel Yağ Sanayii Atıksularının Miktarı ve Özellikleri	6
1.3. Bitkisel Yağ Sanayii Atıksularının Arıtımında Temel Prosesler	8
1.4. Literatür Özeti	10
2. MATERYAL VE METOT	15
2.1. Çalışma Alanı	15
2.2. Örnekleme Noktalarının Seçimi ve Örneklerin Alınması	19
2.3 Arıtılabilirlik Çalışmaları	20
2.3.1. Serbest yağların alınması	21
2.3.2. Çözünmüş hava flotasyon (CHF)-sistemi	22
2.3.3. Asit ile emülsiyon kırma ve kireç ile koagülasyon	23
2.3.4. Alüm ve demir (III) klorür ile koagülasyon	23
2.3.5. Aktif çamur (AÇ) sistemi	24
2.3.6. Yukarı akışlı havasız çamur yatağı (YAHÇY)	25
2.4. Yapılan Analizler ve Analiz Metotları	27
3. BULGULAR	32
3.1. Atıksuların Karakterizasyonu	32
3.2. Arıtılabilirlik Çalışmaları	40
3.2.1 Serbest yağların alınması	40
3.2.2. Çözünmüş hava flotasyonu	41
3.2.3. Asit ile emülsiyon kırma ve kireç ile koagülasyon çalışmaları	43
3.2.4. Alüm ve demir (III) klorür ile koagülasyon	45
3.2.5. Çözünmüş hava flotasyonu (CHF)-aktif çamur (AÇ) sistemi	51

3.2.6. Yukarı akışlı havasız çamur yatağı (YAHÇY)	52
3.2.6.1. Alıştırma devresi	53
3.2.6.2. İşletmeye alma	56
3.2.7. Yukarı akışlı havasız çamur yatağı (YAHÇY)- aktif çamur (AÇ) sistemi	68
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	73
5. ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	81



1. GİRİŞ

Endüstriler çok değişik türde ve miktarda kirleticiler oluşturmaktadır. Atıksu karakterizasyonu çalışması ile endüstrilerin kirletici özellikleri değerlendirilip, endüstriler kirlenme açısından sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma ile endüstrinin kirletici özelliklerinin belirlenerek gerekli kontrol önlemleri ortaya konur. Böylece herhangi bir endüstri için izlenmesi gereken “atıksu kontrol ve arıtma stratejisi” de belirlenebilir.

Öncelikle, yapılan analizler atıksuyun özelliklerini tam olarak ortaya koymadıkça, hem seçilen arıtılabilirlik çalışmaları hem de çalışmaların etkinliği açısından performans etkilenecektir. Proses bir kez kararlı hale geldiğinde, mühendislik çalışmaları ile pratik amaçlar için ekonomik arıtım metodu seçilmiş olacaktır. Bu çalışmalar, arıtım tesislerinin ideal duruma getirilmesi için zorunludur. Yüksek kaliteli bir çıkış suyu sağlamak için etkili bir atıksu yönetim programı geliştirmek, ekonomik açıdan birçok basamaklara ayrılmaktadır. Bunlardan en önemlisi, atıksuyun bileşimi ve karakterizasyonunu gerekli kılmaktadır. İkincisi, gerekli arıtım seviyesinin belirlenmesinin yanı sıra, ulusal kriterlere uygun arıtım yapılmasını gerektirir. Bunların dışında kanalizasyona deşarj ile sonuçlanan arıtım alternatiflerinin değerlendirilmesi ve tesis içindeki modifikasyonlar da önemlidir. Bir ön hazırlık olarak, ekonomik analizler de optimum arıtım programlarının seçimine katkıda bulunmaktadır (Adams ve diğ., 1975).

Optimum biyolojik arıtma sistemlerinin seçimi önemli bir basmaktır. Bu seçimde, arazi gereksinimi, istenen çıkış suyu kalitesi ve işletme masrafları gibi çeşitli faktörler dikkate alınmalıdır. Verilen bir atığın biyolojik ayrışabilirliğini ve ayrışma hızını belirlemek için pilot tesis çalışmalarına gerek duyulmaktadır. Bu çalışmalar, yağın toksik etki yaptığı konsantrasyonların limitini belirlemede de önemlidir (Şengül, 1989).

Yemeklik yağlar, hayvansal ve bitkisel olmak üzere iki grupta ele alınmaktadır. Günümüzde bitkisel yağlar, hayvansal yağlara göre çok daha fazla kullanıldığından, bitkisel yağ sanayii çok hızlı gelişmektedir. Ülkemizde de bitkisel yağ sanayiinde son yıllarda hızlı bir gelişme görülmektedir. Özellikle ortam şartlarına uygunluğu ayçiçeği çekirdeği, pamuk, mısır gibi yağlı tohumluların ekim alanı bulması, bitkisel yağ sanayinin gelişmesine vesile olmuştur. Türkiye’de yılda ortalama (1986-

1994). 1 000 000 ton ayçekirdeği üretilmekte ve bu üretimden ortalama 300 000 ton ham yağ ile 110 000 ton yemeklik yağ elde edilmektedir (DİE, 1994).

Hammaddeleri farklı olmalarına karşın, bitkisel yağ fabrikalarının atıksuları benzerlikler sergilemektedir. Atıksular, yüksek derecede asidik veya alkali olabildiği gibi, yağ-gres ve katı madde konsantrasyonları yüksektir. Bu atıksular herhangi bir arıtmadan geçirilmeden alıcı ortamlara verildiğinde, yüzeysel sularda oksijen alımının azalması, suda yaşayan canlıların ölümü, toprak yapısının bozulması ve atıksu tasfiye tesislerinde pompa ve boruların tıkanması gibi olumsuz çevresel etkilere neden olmaktadır. Ayrıca, yağlar ve benzeri maddeler su yüzeyini kaplayarak estetik açıdan olumsuz bir görüntü oluşturur. 0.15 µm kalınlığında bir yağ tabakası bile suda renk etkisi oluşturmaktadır (Baykut ve diğ., 1987).

Bitkisel yağların rafinasyonunda ham yağ, çeşitli aşamalarda işlenerek yemeklik yağ haline getirilmektedir. Bu işlemler sırasında birçok bağlayıcı ve çözücü reaktiflerden yararlanılır. Dolayısıyla yağın her rafinasyon kademesinde özellikleri ve miktarları farklı olan atıksular oluşmaktadır.

Ülkemizde belediye sınırları içerisinde kalan bazı yörelerimizde yerel su ve kanalizasyon idareleri ve bunların uyguladıkları “ Kanalizasyona Deşarj Standartları “ mevcuttur. Endüstrilerin bu standartları sağlayacak şekilde ön arıtma tesisi kurmaları ve işletmeleri zorunluluğu getirilmiştir (Şengül ve diğ., 1992). Yağ fabrikalarının deşarj ettikleri atıksuyun mutlaka arıtılması gerekmektedir. Bitkisel yağ sanayii atıksularının arıtımı sırasında oluşan asitli yağın ekonomik açıdan tesise katkısı ve arıtılmamış atıksuyun oluşturduğu problemler göz önüne alınırsa, her yağ fabrikasının bir tasfiye tesisine ihtiyacı olduğu görülmektedir (Şener ve Büyükgüngör, 1992).

Yağ içeren atıksular kimyasal ve biyolojik olarak arıtılabilirler. Kimyasal arıtmada temel işlem koagülasyondur (Basu, 1967; Chin ve diğ., 1987). Biyolojik arıtmada ise aktif çamur (AÇ), damlatmalı filtreler ve anaerobik arıtma sistemleri kullanılabilir (TUBİTAK, 1984). Yağlı atıksu içerisinde bulunan serbest yüzebilen yağların alınması, değerlendirme ve yeniden kullanım açısından önem taşıdığı gibi biyolojik arıtım için meydana gelebilecek sorunları da ortadan kaldırmaktadır. Atıksudaki yağları ayırma probleminin güçlüğü yağ partiküllerinin dağılımı, çözünmüş yağlar, serbest yağ damlacıkları ile emülsiyonlar gibi yüzey aktif maddelerinin varlığı ile ilişkilidir.

Yağlı atıksuların arıtımı birçok bakımdan evsel atıksularınkine benzer. Yemeklik yağ sanayii atıksularında çözünmüş organik madde, Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ₅), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), yağ-gres, sülfat, Toplam Katı Madde (TKM), sıcaklık ve pH dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir. Bu parametrelerden yağ-gres, BOİ₅, TKM, KOİ, pH, Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM), sıcaklık ve nispeten margarin sanayiinde bulunabilen toplam koliform bakteri 1.derecede önemli parametrelerdir. 2. derecede önemli olanlar ise nikel (margarin sanayiinde), toplam azot, fosfor, renk, bulanıklık ve toksiditedir (Eroğlu, 1988).

Yağ-gres konsantrasyonları, pH, KOİ, BOİ₅, Askıda Katı Madde (AKM) ve diğer indikatör parametrelerle birlikte ele alınmalıdır. Evsel atıksuların yağ-gres konsantrasyonu 30-50 mg/L arasında değişmesine rağmen yağ sanayii atıksularında bu değer 1000 mg/L'yi aşmaktadır (Tsugita ve Ellis, 1981). Bazen tasfiye edilmemiş bir yağ fabrikası atıksularında bu değer 2000 mg/L'ye ulaşmaktadır. (Uslu ve Türkman, 1987).

Bitkisel yağ sanayii atıksularının konvansiyonel arıtımı fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemler ile üretilen çamurun mekanik olarak susuzlaştırma işlemlerini kapsar. Kireç ile kimyasal arıtım, çökeltme işlemlerinde kullanılmaktadır. Yağlı materyaller ise AÇ gibi konvansiyonel aerobik biyolojik sistemlerle düşük seviyelerde giderilebilmektedir. Kimyasal arıtımla % 50'nin üzerinde KOİ giderimi sağlanmaktadır. Çok iyi arıtım yapan aerobik sistemler de vardır. Kireç ile çökeltme ve AÇ sistemlerinden oluşan kombinasyon oldukça etkilidir. Fakat yüksek kapital yatırımı ve işletme giderleri gerekmektedir.

Bu çalışmada, Bitkisel Yağ Sanayiine bir örnek teşkil etmesi nedeniyle, Elazığ'da kurulu bulunan Karadeniz Birlik Doğan Erdil Ayçiçek Yağ Fabrikası atıksuları karakterizasyonu ve arıtılabilirliği ile ilgili detaylı çalışmalar yapılarak, optimum arıtma sistemi belirlenmiştir.

1.1. Bitkisel Yağların Üretimi

Bitkiler, yağı genellikle depo ve rezerve maddesi olarak tohumlarında biriktirmektedirler. Yağlı tohumlulardan yağın alınması ve rafinasyonu ile yemeklik yağlar üretilmektedir. Ham yağın bitki ve hayvan dokularından çıkartılmasında ısı ile ekstraksiyon, pres yardımıyla yüksek basınç tatbiki, ve çözücü yardımıyla ekstraksiyon usulleri kullanılmaktadır.

Ham yağ az miktardaki gliserid esterleri ile gumların karışımıdır ve yağ çeşitli işlemlerden geçirilerek rafine edilir. Böylece safsızlıklardan ayrılmış olur. Rafineriler, fiziksel prosesler ile fiziksel-kimyasal proseslerden ibarettir. Fiziksel prosesler, soğutma suları, yıkama ve temizleme sularından oluşur. Kimyasal rafine oldukça komplekstir ve alkali nötralizasyon sularını, sabun stoğu (asit splitting) sularını ve solvent ekstraksiyonu ile deterjan bölümlerini içerebilir (Chin ve diğ., 1987).

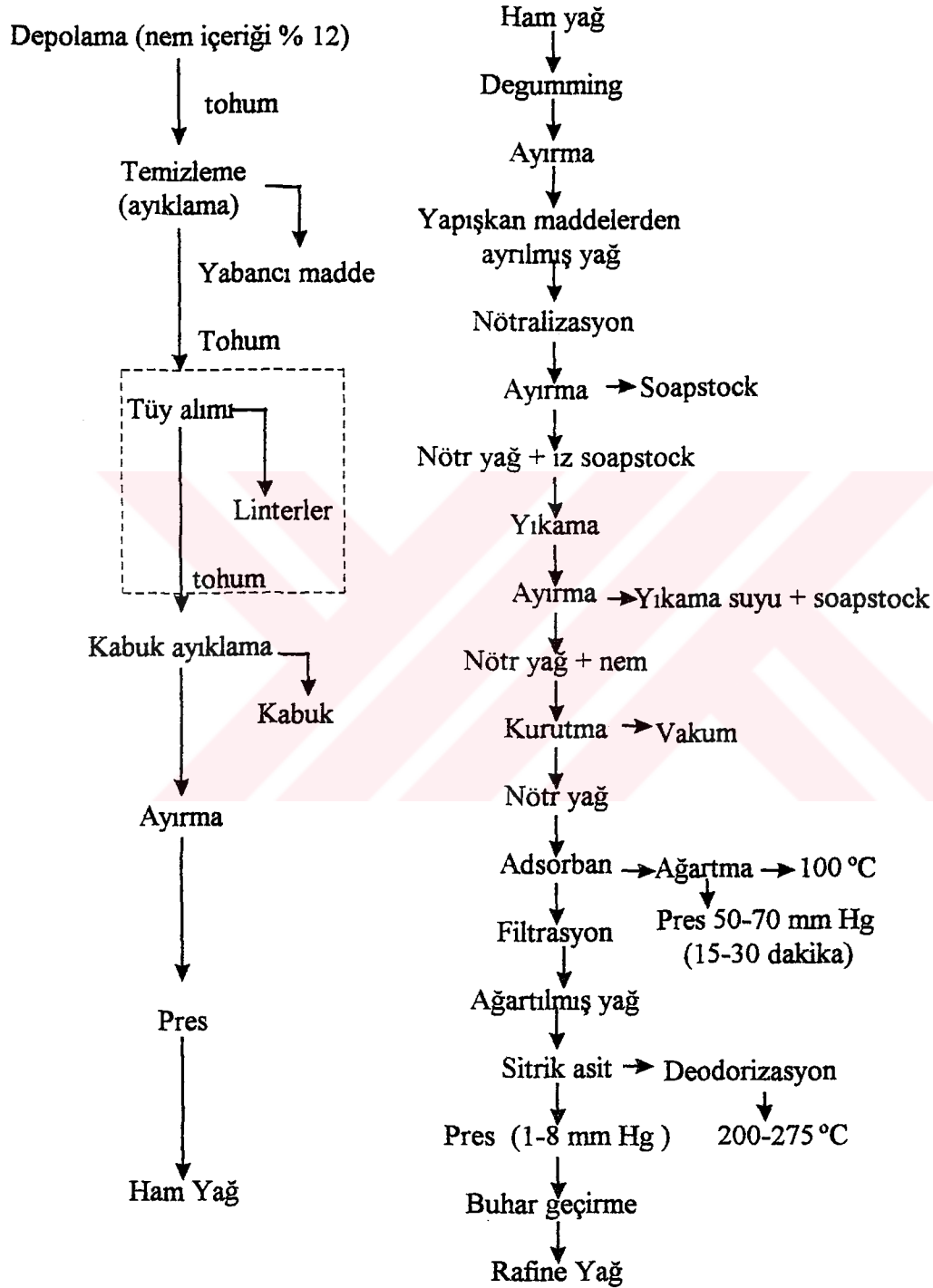
Yenebilir yağların üretiminde kullanılmakta olan ham yağ rafinasyon tipleri; Santrifüjlü sürekli nötralizasyon, Lauval Short- Mix prosesi, Ultra Short- Mix prosesi, Zenith prosesi, Clayton prosesi, Miscella rafinasyonu, Esterleşme ile serbest yağ asitlerinin indirgenmesi ve sıvı-sıvı ekstraksiyonudur (Şengül ve diğ., 1992).

Yağlı tohumlar (pamuk tohumu, ayçiçeği çekirdeği, soya tohumu vb.) kabukları kırılıp eleklerden geçirildikten sonra yatay fırınlarda kavrulur. Hazırlanan tohumların yağı, ya burgulu pres ile mekanik olarak ya da ekstraksiyonla direkt olarak alınır. Çoğu fabrikada bu iki yöntem birlikte uygulanır. Elde edilen ham yağ rafineri edilmek üzere depolanır. Rafinasyon işlemi serbest yağ asitlerinin nötralizasyonu, zamlı ve yapışkan maddelerin giderilmesi, renk ve koku giderme işlemlerini kapsar (Öztürk ve diğ., 1990). Bitkisel yağ rafinerileri de benzer şekilde nötralizasyon, çöktürme (hidratasyon), renk giderme (ağartma), koku giderme (deodorizasyon), yüksek erime noktasına sahip olan gliseridlerin giderilmesi (vinterizasyon) gibi kademeleri ihtiva etmektedir. Hidrojenasyon ise sıvı yağların hidrojenle doyurularak katı yağlara çevrilmesidir. Ham yağ eldesindeki ön işlemler ve kimyasal rafinasyon prosesi olan Alfa-Lauval prosesi Şekil 1.1'de şematik olarak görülmektedir.

Nötralizasyon aşamasında, yağ 75-90 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra kostik çözeltisi ile 30 dakika temas ettirilir. Temas süresinin kısa olması, sabunlaşma kayıplarını en aza indirger. Elde edilen sabun stoğu, santrifüj ayırıcıyla yağdan ayrılır. Nötralizasyon işleminde ham yağın % 10-20'si kadar su kullanılır. Bu sular yağ rafinerinin en kirli sularıdır (Şengül, 1990).

Renk giderme işlemi, rafine edilmiş yağda bulunan eser miktarlardaki sabun kalıntısını, safsızlık veren maddeleri ve pigmentli maddeleri bir adsorbant vasıtası ile giderme işlemidir. Yemelik yağlardan kötü koku renk ve tadın giderilmesi için genellikle

asitle işleme tabi tutulmuş kalsiyum montmorilonit yapısındaki ağartma toprağı kullanılmaktadır. Bazen ağartma toprağı yerine perlit kullanılır.



Bu proses pamuk yağı için kullanılmaktadır.

Şekil 1.1. Ham Yağ Elde Edilmesinde Ön İşlemler ve Alfa-Lauval Kimyasal Rafinasyon Sistemi Akış Diyagramı (Şengül, 1990).

Yağda istenmeyen maddeler klorofil, β -karoten (ve türevleri), yağ asitleri, fosfatidler, az miktarda sabun stoğu ve eser miktardaki metallerdir. Yemeklik yağlarda bulunan düşük miktardaki uzun zincirli hidrokarbonların giderilmesinde ise bazen aktif karbon-ağartma toprağı kompleksi kullanılmaktadır (Pollard ve diğ., 1993). Adsorban filtreden geçirilen yağın rengi açılmakta ve adsorban madde % 10-25 oranında yağ tutmaktadır. Adsorban madde üzerinde tutulan yağ, su ile ayrılır veya çözücü ekstraksiyonu ile geri kazanılır. Bu ünite de temizleme ve vakum için su kullanılır (Watson ve Meierhoefer, 1976).

Koku giderme işlemi kesikli ya da devamlı buhar distilasyonu ile yapılmaktadır. Bu proseste, yağ içerisine yaklaşık 250 °C sıcaklıkta ve yüksek vakum altında su buharı enjeksiyonu yapılır. Koku veren maddeler, serbest yağ asitleri ve az miktardaki trigliseridler su buharı ile taşınırlar. Bu işlemde taşınan maddeler E vitamini açısından zengindirler ve hayvan yeminde katkı maddesi olarak değerlendirilebilirler. Su buharını barometrik kondensatörde yoğunlaştırmak için çok miktarda soğutma suyu gerekmektedir. Yoğunlaştırma işleminde kullanılan sular soğutularak tekrar kullanılır.

Sıvı yağdaki bulanıklılığın giderilmesi amacıyla yağa, son olarak vinterizasyon işlemi uygulanmaktadır. Bu işlemde yağlar düşük sıcaklıkta yavaş karıştırma ve 24-36 saat süre ile kristallendirilir. İşlemde soğutma hızı 1-15 °C/saat'tir. Büyük kristallerin oluşmasını takiben yağ filtrelenir. Filtre bezlerinin üzerinde tutulan stearin kazanılır ve bezler 80-100 °C sıcak su ile yıkanır. Kazanılan stearin, sabun hammaddesi olarak kullanılır. Yıkama suyu ile az miktarda atıksu oluşur.

1.2. Bitkisel Yağ Sanayii Atıksularının Miktarı ve Özellikleri

Yemeklik yağ sanayinde ortaya çıkan atıksular; proses suyu, soğutma suları (barometrik kondenser suları), kazan suyu ve fabrika çalışanlarından ileri gelen evsel nitelikli atıksulardan ibarettir (Eroğlu, 1988). Atıksuların miktar ve özellikleri kullanılan proses ekipmanlarına, sıcaklığa, basınca, kullanılan ham maddeye ve üretilen yağ tipinin ne kadar sıklıkla değiştirildiğine bağlıdır (Buck ve Sekoulov, 1989).

Nötralizasyon işlemlerinden çıkan atıksular rafinasyon işlemlerinin en kirli sularıdır. Çıkış suyu sıcaklığı 65-70 °C arasındadır. Rafinasyon ünitelerinden çıkan diğer sular, yıkama sularıdır.

Sabun üretiminden oluşan atıksular ya direkt proses suları ile birleştirilir ya da ayrı olarak deşarj edilir. Sabun üretiminden oluşan atıksular küçük hacimlerde, yüksek alkaliniteye sahip, askıda katı maddesi, KOİ ve BOİ₅ konsantrasyonları oldukça yüksek, buna karşılık rafinasyon atıksularına kıyasla yağ-gres içeriği çok daha düşük olan ve 55-65 °C sıcaklığa sahip sulardır. Ayçiçeği yağı fabrikası atıksu karakteristikleri Tablo 1.1'de verilmiştir (Şengül, 1990).

Atıksuyun büyük bir kısmı, koku giderme (deodorizasyon) proseslerinde kullanılan barometrik kondenser sularından ileri gelmektedir. Genellikle bu suyun miktarı ton rafine edilmiş yağ başına 50 m³ tür. Asitli sular için gereken su miktarı ise ton başına 0.5 m³ tür. Margarin üretiminde ise bu miktar 1 m³ tür (Eroğlu, 1988).

Rafinasyon aşamasında, asit splitting vasıtasıyla sabun stoğundan yağ asitlerinin üretimi yatak proseslere benzeyen bazı reaktörler içerisinde gerçekleştirilir. Asit splitting sabun stoğuna sülfürik asit ilavesiyle gerçekleştirilir. Sonuçta, çıkış suyu aşırı asidiktir (pH=1.7) ve sülfat konsantrasyonu 4000 mg/L civarındadır (Öztürk ve diğ., 1990).

Serbest yağların giderilmesinden sonra yağ-gres 500-1000 mg/L, BOİ₅ konsantrasyonu ise 1000-3500 mg/L aralıklarına inmektedir (Dart, 1974). Bu ayırım süresince su fazı yağdan ayrılarak drene edilir ve serbest yağlar alınır. Sonuçta gliserol, yağ ve sodyum sülfatın etkin olduğu asitli su drene edilir (Saw ve diğ., 1986).

Asidik deşarjlar, yağ asitleri, nötr yağ, gliserol, gliserid, protein gibi materyalleri kapsar. Asidik atıksular genellikle ton yemeklik yağ başına 0.5-0.6 m³ tür. Yemeklik yağ sanayi atıksuları, 0.85-1.42 kg BOİ₅/ton yemeklik yağ gibi yüksek organik yüke sahiptir. Bitkisel yağ sanayii atıksularında, BOİ₅-AKM, BOİ₅-KOİ ve KOİ-Yağ-gres parametreleri arasında kuvvetli kolerasyonlar bulunmaktadır (Öztürk ve diğ., 1989).

Tablo 1.1. Ayçiçeği Yağı Fabrikası Rafinasyon Proseslerinin Atıksu Karakteristikleri (Şengül, 1990).

Ünite	Sıcaklık, °C		Yağ-gres, mg/L		BOİ ₅ , mg/L		KOİ, mg/L		pH	
Nötralizasyon	60	65	132700	145520	143600	155800	270800	275000	13.7	13.8
1. Yıkama	50	55	3540	3720	4760	4780	9280	9630	13.3	13.5
2. Yıkama	55	56	3250	3320	3700	3750	8690	8780	12.5	12.6
Vinterizasyon	70	75	350	525	525	840	980	1430	11.0	12.0
Kondensasyon	35		40		60		35		7.0	
Sabun Üretimi	55	65	420	740	65000	77500	120000	140000	13.4	13.9

Margarin fabrikası atıksularında serbest yağların giderilmesinden sonra toplam yağ-gres ve BOİ₅ konsantrasyonları sırası ile 600-2000 mg/L ve 1200-2000 mg/L aralıklarında bulunmaktadır. Barometrik kondenser suları ise düşük kirlilik yüküne haizdir. Bu atıksularda, toplam yağ-gres 200-300 mg/L ve BOİ₅ 300-500 mg/L civarındadır (Dart, 1974).

Margarin sanayii atıksuları ile yapılan çalışmalarda elde edilen bulgularda ise pH 1.3-11.0, TKM 100-4550 mg/L, KOİ 800-4230 mg/L, BOİ₅ 250-2008 mg/L, yağ-gres 100-1390 mg/L, ÇKM 1440-8964 mg/L olarak kaydedilmiştir (Eroğlu ve diğ., 1990).

Türkiye’de yılda 95 000 ton margarin imal eden bir fabrikada yapılan çalışmada, proseslerden kaynaklanan atıksu miktarları asidik sular için 2.9-12.3 m³/saat, barometrik kondanser suları için 240-320 m³/saat, mutfak ve sıhhi kullanımlardan kaynaklanan sular için de 4.2-8.9 m³/saat olarak belirtilmiştir (Eroğlu, 1988).

1.3. Bitkisel Yağ Sanayii Atıksularının Arıtımında Temel Prosesler

Bitkisel yağ sanayii atıksularının arıtımında serbest yağların alınması, flotasyon, koagülasyon, aktif çamur (AÇ) sistemi, damlatmalı filtreler ve çeşitli anaerobik sistemler ile ileri arıtım metotları kullanılmaktadır (Eroğlu, 1988).

Serbest yağların alınmasında yağ kapanlarının kullanımı yaygınlaşmıştır (Adams ve Eckenfelder, 1974). Son zamanlarda yağ kapanları yükseltilerek içerisine paralel plakalı yağ tutucuları yerleştirilmiştir. Yağ tutucu (oleofilik) karakterde olan plakalar yağlı su içerisindeki serbest yağ küreciklerinin plaklar tarafından çekilerek tutulmasını, suyun ise itilerek uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Güvezne, 1984). Serbest yağların alınması için ender olarak gravite ayırıcılar ve santrifüj ayırıcılar ile elektro-flotasyon yöntemleri de kullanılmaktadır (Choffel, 1976).

Flotasyonda yavaşça yükselen yağ damlacıklarına küçük hava kabarcıklarının eklenmesiyle yoğunluk farkı artırılır. Yağlı atıksuların arıtımında; hava kabarcıklarının elde edilmiş şekillerine göre hava, vakum ve çözünmüş hava flotasyonu (CHF) olmak üzere üç çeşit flotasyon uygulanmaktadır (Adams ve Eckenfelder, 1974).

CHF üniteleri, genellikle asidik sulardan serbest yağlı materyallerin uzaklaştırılması için kullanılmaktadır (Öztürk ve diğ., 1989). CHF ile 1-20 ppm yağ içeren arıtılmış çıkış

suyu elde edilebilir (Şengül, 1989). Ancak, flotasyon çıkış suyunda askıda katıların yalnızca % 50 si giderilebilmektedir (Adams ve diğ., 1975).

Koagülasyon, sıvı fazdaki partikülleri ayırmak için su ve atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle, floklar içerisinde tutulan süspanse maddeler çökelmeyle birlikte uzaklaştırılmaktadır. Alışlagelmiş alüminyum ve demir gibi inorganik koagülantlar olağanüstü derecede etkilidirler ve ucuza mal olurlar. Bu inorganik koagülantların dezavantajları ise, fazla hacimde çamur oluşturmaları ve metal hidroliz ürünlerinin ortaya çıkmasıdır. Su arıtımında bunlara ilave olarak sentetik polimerler yaygın olarak kullanılmaktadır (Ho ve Tan, 1989). Demir ve alüminyum tuzları ile katyonik polimerler koagülasyonda oldukça etkili maddelerdir (Tsugita ve Ellis, 1981).

Bitkisel yağların rafinasyonunda konsantre ve değişik nitelikte atıksular olduğundan, bu atıksuların sadece fiziko-kimyasal arıtma ile alıcı ortam standartlarını sağlamak mümkün değildir. Bu nedenle Almanya'da yemeklik yağ sanayii atıksularının nihai arıtımı için biyolojik arıtma şart koşulmaktadır. İki kademeli AÇ sistemi ile KOİ konsantrasyonu 200 mg/L'ye kadar düşürülmektedir (Buck ve Sekoulow, 1989).

AÇ sistemlerinde absorblanan yağ, çamurun çökelme karakteristiklerini bozar. Sonuçta çamur kayıpları, sistemde mikrobiyal aktiviteyi azaltacak ve sistemin başarısız olmasına yol açacaktır. Yağın mikrobiyal metabolizması; yağın düşük çözünürlülüğü, kimyasal yapısı ve mikrobiyal yüzeyler ile sınırlıdır. Damlatmalı filtreler ile 100 ppm'e kadar olan yağ konsantrasyonlarının uygun bir şekilde arıtılabildiği belirtilmektedir. AÇ sistemlerinde ise 25 ppm'in altındaki yağ konsantrasyonları arıtılabilmektedir. Biyolojik arıtmadan çıkan sular 10 ppm'den az yağ içerirler (Şengül, 1989).

Eckenfelder ve Grau (1992)'ya göre; deşarj standartlarını sağlamak için endüstriyel atıksuların bir dengeleme ve ön arıtım proseslerinden geçirildikten sonra AÇ sistemine girmesi gerekmektedir.

Aerobik biyolojik arıtmada *Artrobacter*, *Corynebacterium*, *Acetobacter*, *Psuedomonas*, *Thiobacillus*, *Saccharomycetes* ve *Aspergillus* gibi mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Atıksudaki azot bileşikleri, *Nitromonas*, *Nitrobacter* ve denitrifikasyon bakterileri ile uzaklaştırılır (Kargı, 1992). Yağları ayrıştırma yeteneğindeki mikroorganizmalar iyi bir şekilde tanımlanmıştır. Özellikle *arthrobacter*,

Corynebacterium, *Flavobacterium*, *Nocardia* ve *Pseudomonas* türleri yağları parçalayabilmektedirler (Uslu ve diğ.,1983).

Anaerobik arıtım ekonomik açıdan düşük kapital gerektirir. Bu durum, kontakt çürütücüler, paket yataklı çürütücüler, yukarı akışlı havasız çamur yatağı (YAHÇY), veya sabit/akışkan yataklı çürütücülerin yeni jenerasyonları üzerinde görülen kaliteli arıtma için oldukça önemlidir. Laboratuvarlarda yapılan ön arıtma testleri ve pilot ünite çalışmaları, anaerobik sistemlerle bitkisel yağ sanayii atıksularının kolayca arıtılabileceğini göstermiştir. Anaerobik sistemlerin çıkış suyundaki yağ-gres konsantrasyonu, AÇ sistemlerine veya kanalizasyon sistemlerine deşarj limitini sağlamaktadır (Saw ve diğ.,1986).

Aktif karbon adsorbsiyonu karbonun rejenerasyonunu gerektirir. Bu amaçla organik çözücüler, buhar, sıcak su ve piroliz kullanılabilir. Aktif karbon adsorbsiyonu ile arıtma genellikle büyük kapital gerektirir. Bu nedenle atıksulardaki yağı arıtmada, karbon adsorbsiyonu yaygın değildir. EPA, çıkış suyu standartlarını sağlamak için ABD’de karbon adsorbsiyonunun en iyi yöntem olduğunu belirtmektedir (Şengül, 1989).

Ultrafiltrasyon ve ters osmoz ile arıtma, çözünmüş emülsiyeler ve çok ince dağılmış yağ damlacıklarının arıtımında kullanılır. Ultrafiltrasyon, polimerik membranın eleme faaliyetine dayanır. Uygulanan basınç, sıvının membran üzerindeki akışını artırmak içindir. Membranlar taneciklerle tıkanıldığında akış azalacaktır. Tıkanma, geri yıkama veya deterjan ile yıkanma sonucu giderilebilir. Ters osmoz, ultrafiltrasyona benzer ve yağ, filtre üzerinde tutulur. Ters osmoz prosesinde por büyüklüğü düşüktür ve uygulanan basınçlar oldukça fazladır. Bu işlemler yağ içermeyen atıksu oluşturmak için uygulanabilir (Choffel, 1976). Ancak bu tip tesisler çok fazla yatırım maliyeti ve yüksek işletme masrafları olan tesislerdir.

1.4. Literatür Özeti

İstanbul Marsa-Kraft A.Ş. tesislerinde mevcut iki kademe atıksu tasfiye tesislerinin işletme verimi ve yemeklik yağ endüstrisi proses atıksularının arıtılabilirliğinin değerlendirildiği bir çalışmada, asit ile yağları parçalama ve 10 dakika yağların ayrılması için bekleme, daha sonra alt fazda alum, kireç ve polielektrolit ile pH=7.5 ta koagülasyon işlemi uygulanarak 300 mg/L den daha az KOİ konsantrasyonuna ulaşılmıştır. Biyolojik

arıtılabilirlik çalışmalarında ise iki ayrı AÇ reaktörü kullanılmıştır. Reaktörler kimyasal arıtma görmüş atıksularla beslenmiştir. Reaktörlerden biri uzun havalandırma olarak, diğeri ise kesikli olarak çalıştırılmıştır. İlk reaktörde % 85-90, ikinci reaktörde ise % 72 KOİ giderimi sağlanmıştır (Öztürk ve diğ., 1994).

Ho ve Tan (1989), hurma yağı atıksularının anaerobik arıtmadan çıkan sularda koagülasyon ve CHF verimlerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada, yalnız CHF ve CHF'na ilaveten koagülasyon sistemlerinin verimleri araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, yalnızca CHF'na 3 kg/cm² hava verilerek % 59.2 TKM, % 79.7 BOİ₅, % 79.2 KOİ ve % 94.4 AKM giderimi sağlanmıştır. CHF ile birlikte koagülasyon sisteminde atıksuya, 1.83 mg/dm³ alüminyum tuzu ve 2.5 mg/dm³ polielektrolit C ilave edilerek Jar testi yapılmıştır. 0.5 L'lik atıksu numunelerine alüminyum tuzu ilave edilerek, önce 3 dakika hızlı (100 devir/dakika) karıştırmaya tabii tutulmuştur. Daha sonra polielektrolit C ilave edilerek aynı hızda 3 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra 5 dakika yavaş karıştırma (10 devir/dakika) yapılmış ve atıksu çökelmeye bırakılmıştır. 5 dakika çökelmeden sonra orta fazdan pipetle alınan numunede gerekli analizler yapılmış ve % 63.1 TKM, % 90.0 BOİ₅, % 94.7 KOİ ve % 97.0 AKM giderimi sağlanmıştır. Koagülasyonda optimum şap konsantrasyonu 1.25-1.50 mol/ dm³, optimum pH ise 7.0 olarak tespit edilmiştir. Laboratuar ölçekli CHF çalışmalarında ise, % 80 gibi yüksek bir değerde yağ-gres giderimi sağlanmıştır. Aynı çalışmada, koagülasyon çalışmaları boyunca demir (III) klorür, en etkili koagülant olarak bulunmuştur ve % 36 civarında bir BOİ₅ ve KOİ uzaklaştırılması gerçekleşmiştir. Organik yüklerin gideriminde deşarj standartlarına ulaşamamıştır (Öztürk ve diğ., 1989).

Tay (1990), soya atıklarının AÇ sistemi ile arıtılması konusunda yapmış olduğu çalışmada çamur hacim indeksi (ÇHI)'nin 165 ml/g , Besin/mikroorganizma (F/M) oranının 0.5 olduğu şartlarda % 90 KOİ verimi elde etmiştir.

Dart (1974), 1040 mg/L BOİ₅ ve 800 mg/L yağ-gres içeren bir atıksu için kostik ile pH'ı 10 civarına yükselterek ve bunu takiben 1500 mg/L kireç kullanarak % 88'lik yağ-gres ile % 60'luk BOİ₅ giderimi sağlamıştır.

Chin ve diğ. (1987), bir palmye yağı değirmeninde taze meyvelerden yağ ekstaksiyonu ile yemeklik yağ üreten bir tesiste, atıksuları kireç, alum ve polimer kullanılarak koagülasyon ile ön arıtmadan geçirmişlerdir. Yağ-gres ve süspanse katılar

hava flotasyonu ve bunu takiben koagülasyon ile giderilmiştir. Oluşan büyük miktarlarda kimyasal çamurla birlikte, atıksudan % 90 oranında KOİ ve AKM giderimi sağlanmıştır.

Yağlı çamurun yukarı akışlı sistemlerde mümkün olan formasyonunu incelemek amacıyla tam karışimli kontakt proses ve yukarı akışlı anaerobik filtre olmak üzere iki pilot ölçekli tesisi karşılaştırmak amacıyla yapılan bir diğer çalışmada ise, her bir tesiste 0.5 m^3 hacimlerde reaktörler kullanılmıştır. Her iki sistemde de sıcaklık $35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ de tutulmuştur. Yapılan çalışmada anaerobik kontakt proses ve anaerobik filtre için sırasıyla hidrolik bekleme süresi (HBS) 9.26-1.98 ve 8.06-0.67 gün, organik yük ise 0.42-1.12 ve $0.41\text{-}3.39 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ olarak uygulanmıştır. 25 günlük başlangıç periyodunda metan oluşumu $0.02 \text{ m}^3/\text{kg KOİ}$ iken gün geçtikçe artarak $0.23 \text{ m}^3/\text{kg KOİ}$ değerine yükselmiştir. Deneme periyodu boyunca her iki reaktörde de üretilen gazın hacimsel olarak yaklaşık % 75'i metan, % 20'si karbondioksit ve %5'i hidrojen sülfür şeklinde olduğu belirlenmiştir. Yağ-gres uzaklaştırılması % 78-93 arasında sağlanmıştır. Operasyonun 143. gününde reaktörler içerisinde ayrılmayan yağların tespit edilmesi, reaktörlerin yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Ham atıksuda KOİ/N/P oranları 100/1.2/2.6 civarında bulunmuştur. Bu oranın 100/1.6/0.9 olması sağlanmıştır. Her iki sistemde yağlı maddelerin uzaklaştırılması için ön artım olarak kimyasal artımın gereksiz olduğu, 100 mg/L 'yi aşmayan ve % 80-90 gibi bir verim elde edilen çıkış suyundaki yağlı madde konsantrasyonundan anlaşılmıştır. Karbonlu maddelerden kaynaklanan KOİ giderme verimi % 76-92 olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada, anaerobik sistemlerde metan bakterileri kadar sülfat indirgeyen bakterilerin de etkili olduğu ve bu iki mikrobiyal sistemin bir arada olduğu proseslerde, karbonlu maddeler içeren KOİ ve sülfatın daha etkin giderildiği görülmüştür. Ancak, çıkış suyunda çözünmüş sülfidlerin olumsuz etkileri ortaya çıkmıştır (Saw ve diğ., 1986).

Öztürk ve diğ. (1989), bir yağ fabrikası arıtma tesisini planlarken, BOİ₅ değerini 250 mg/L 'nin altına düşürerek kanalizasyon sistemine deşarj edilmesi koşuluyla yaptıkları çalışmada, sistem dizaynı ve kriterlerini belirlerken, alternatif artım çalışmalarını denemişlerdir. CHF ünitesinden çıkan sular, deşarj standartlarını tam olarak karşılamadığından dolayı, proses atıksularının arıtımı AÇ sistemi ile denenmiştir. Tam karışimli sıvıda UKM konsantrasyonu $2600\text{-}4100 \text{ mg/L}$ aralığında tutulmuştur. HBS'nin 20 saatte tutulduğu ilk 10 günlük periyotta sistem performansı kararlı görülmemiştir.

HBS'nin 24 saat olduğu durum sağlandığında zamanla şok yüklemelere maruz bırakılan sistem operasyon periyodu boyunca kararlılığını sürdürmüştür. Sistem performansı kış şartlarında ve 10 °C denenmiştir. Bu olumsuz şartlara rağmen % 80 den fazla substrat giderme verimi sağlanmıştır. Bu çalışmada 24 saatlik HBS ile BOİ₅ konsantrasyonu 250 mg/L'nin altına indirilmiştir. AÇ sisteminde, kış şartlarında KOİ giderim oranı % 85 civarında bulunmuştur. CHF ünitesinden alınan yağlı materyaller tekrar endüstride değerlendirilmek üzere geri kazanılmıştır. Bunun da işletme giderlerine önemli katkıda bulunacağı vurgulanmaktadır.

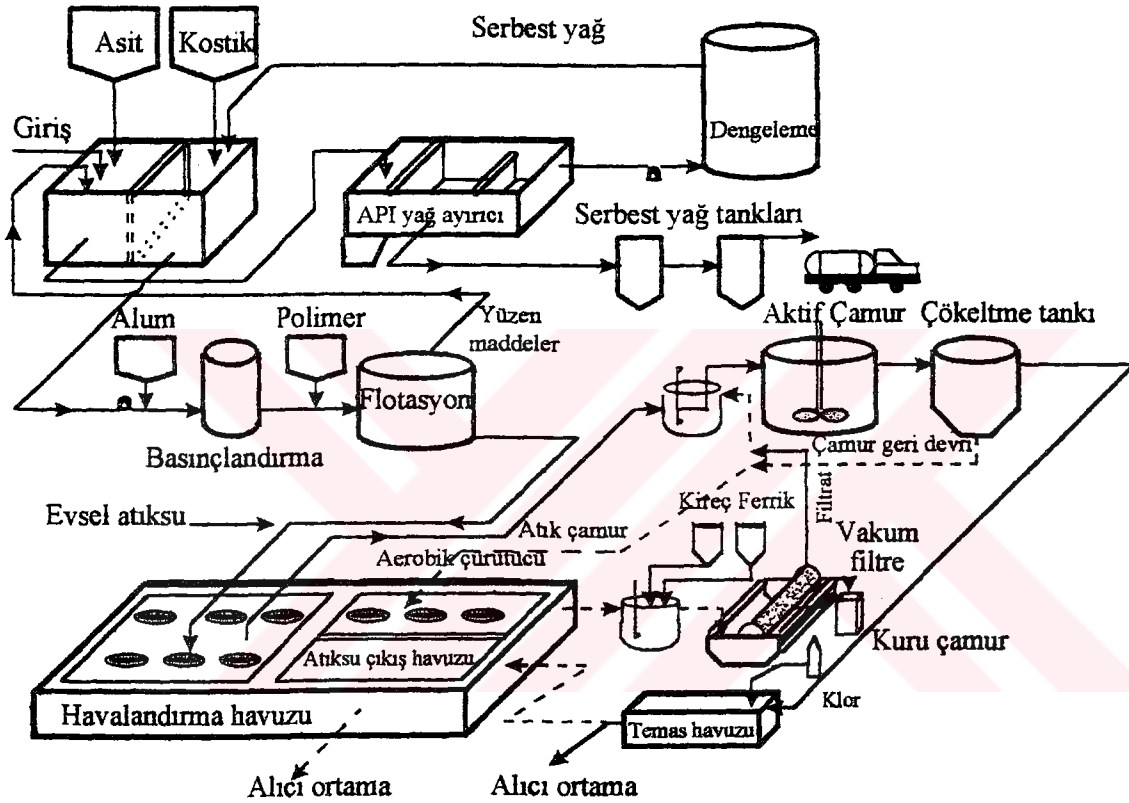
Adams ve diğ. (1975), Illinois Joliet'deki Glidden-Durkee Besin Endüstrileri'nde atıksu yönetim programını bir daha gözden geçirmek için bir bitkisel yağ fabrikası üzerinde çalışmışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, pilot ölçekli fiziko-kimyasal arıtma sistemlerine paralel olarak dizayn edilmiş ikincil arıtma sistemleri gerektiğini vurgulamışlardır. İkincil arıtma sistemi olarak, paralel şekilde dizayn edilen 3 adet AÇ sistemi kullanmışlardır. Atıksular, yağ ayırıcıdan geçirildikten sonra düşük seviyede yağ giderimi sağlanmıştır. Çıkış suyu yüksek oranda serbest yağ içerdiğinden bu yağlar, CHF sisteminde polimer dozlaması yapılarak uzaklaştırılmıştır. Çözünmüş organiklerin uzaklaştırılması için uygulanan ikincil arıtma sistemlerinde % 89.9 BOİ ve % 96.7 KOİ'lik giderme verimleri bulunmuştur.

Bitkisel ve hayvansal yağ rafinerileri atıksularının arıtılabilirliği ile ilgili diğ. bir çalışmada da, yağ kapalı ve CHF sistemi kullanılmıştır. CHF sistemine 452 ppm alum ve 2.59 ppm polimer ilave edilmiştir. Bu iki sistemin % 84-89.4 AKM, % 87.2-91.2 Yağ-gres ve %74.9-81.6 BOİ giderimi sağladığı belirtilmektedir. Yapılan çalışmada, anyonik ve iyonik olmayan polimerlerin düşük pH şartlarında katyonik polimerlerden daha etkili olduğu savunulmaktadır (Seng ve Kreutzer, 1975).

Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan kompleks arıtım sistemlerinde % 90'ın üzerinde KOİ ile yağ-gres giderimi gerçekleştirilmektedir. Bitkisel yağ sanayii atıksularının arıtımında yaygın olarak kullanılan kompleks arıtım zinciri, Şekil 1.2'de şematik olarak görölmektedir (Adams ve diğ., 1975; Mc Dermott, 1976).

Keller ve Cantrell (1975), bitkisel yağ sanayii atıksularının arıtımında kullanılan sistemleri ve arıtma verimlerini araştırmışlardır. Araştırmalarında, yağ sıyrıcı ile % 38 BOİ, %33 AKM ve % 25 yağ-gres giderimi sağlandığı belirtilmektedir. Aynı

araştırmacılar yağ tutucu çıkışından alınan numuneleri polimer ve alum takviyeli CHF'na tabii tutmuşlar ve % 74 BOİ, % 84 AKM ve % 88 yağ-gres giderimi gerçekleştirmişlerdir. Hiç bir madde ilave edilmeden CHF ile yaptıkları çalışmada ise % 33 BOİ, % 32 AKM ve % 62 yağ-gres giderimi sağlanmıştır. Söz konusu yazarlar arıtma veriminin % 90'ın üzerinde tutulabilmesi için Tablo 1.2'deki arıtım zincirini önermektedirler.



Şekil 1.2. Yağ Sanayi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Kompleks Arıtım Zinciri (Adams ve diğ., 1975; Mc Dermott, 1976).

Tablo 1.2. Bitkisel Yağ Sanayi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Prosesler ve Arıtma Etkinliği (Keller ve Cantrell 1975).

Arıtma Sistemi	BOİ ₅ , mg/L	AKM, mg/L	Yağ-Gres, mg/L
Ham Atıksu	2635	1400	485
Anaerobik lagün	475	580	105
Damlatmalı Filtre	296	602	75
Son Çökeltme Havuzu	125	110	35
Klorlama (Kontakt H.)	60	90	15
Toplam Verim, %	97	94	97

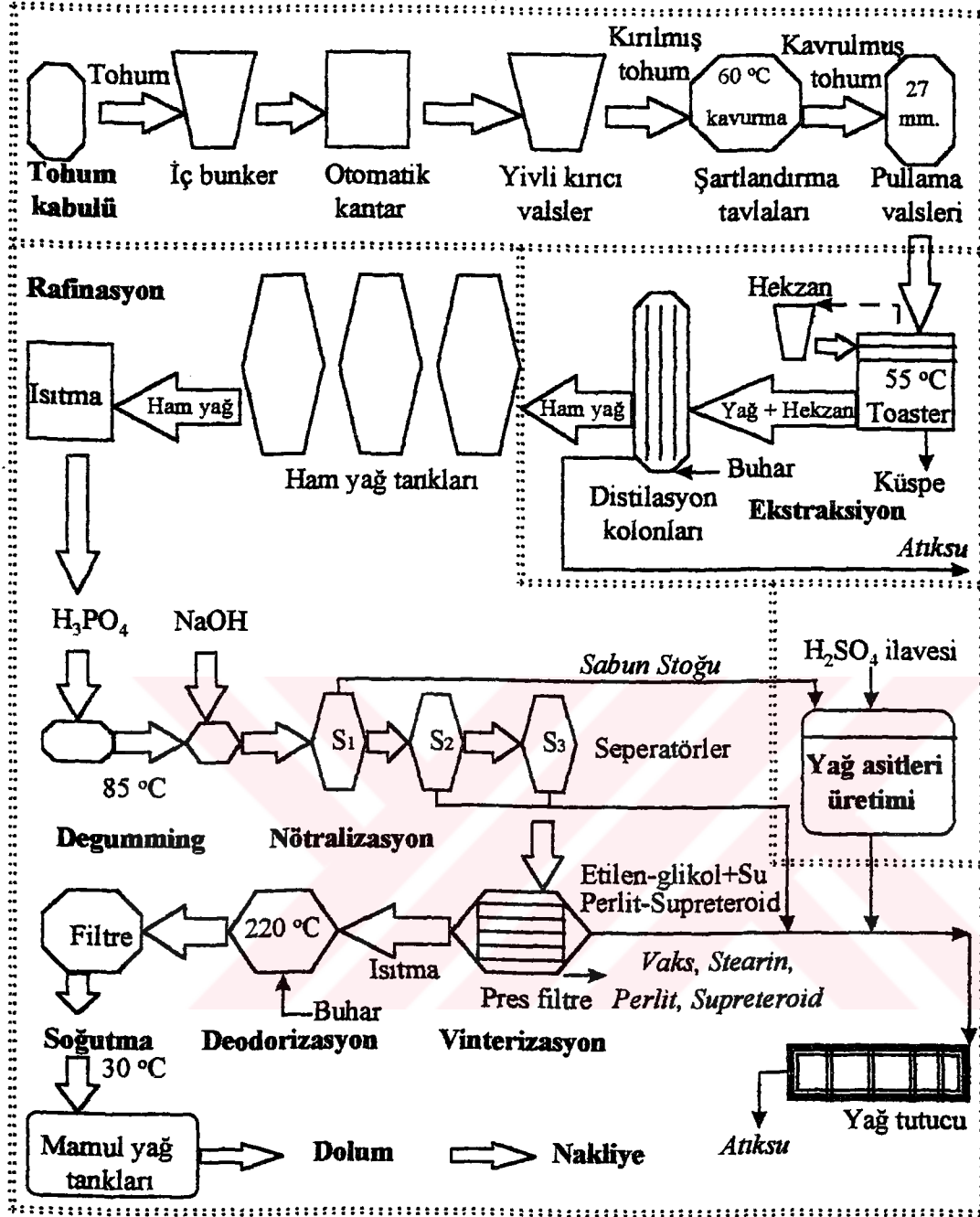
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanı

Bitkisel yağ fabrikası atıksularının karakterizasyonu ve arıtılabilirliği konusunda seçilen çalışma alanı, Elazığ-Malatya karayolu üzerinde bulunan ve Elazığ İli'ne 25 km uzaklıktaki Karadeniz Birlik Doğan Erdil Yağ Fabrikası' dır. Pamuk ve ayçiçek tohumlarının işlenebildiği fabrikada, sıvı yağ üretilmektedir. Alfa Lauval Short-Mix sistemine göre dizayn edilen fabrikada tamamen ayçiçeği çekirdeği işlenmektedir. Hammadde genellikle çevre illerden sağlanmaktadır. Hammadde miktarına bağlı olarak üretim 8-9 ay sürmektedir. Genellikle fabrika, yaz aylarında çalışmamaktadır.

Fabrikada tohum kabul istasyonu, ekstraksiyon ünitesi, rafineri (nötralizasyon ünitesi ile deodorizasyon ve vinterezasyon) üniteleri ve dolum tesisleri bulunmaktadır (Şekil 2.1). Ayrıca yardımcı üniteler olarak, kalorifer kazan dairesi, mekanik atölye, yemekhane ve işletme binası yer almaktadır. Fabrikanın su ihtiyacı, tamamen yeraltı suyundan sağlanmaktadır. Bu sular, iyon değiştirici reçinede yumuşatılmaktadır. Fabrikada atıksu oluşturan birimler, ekstraksiyon, rafineri, kazan dairesi, yemekhane, evsel atıksular ve proses yıkama suları gibi ünitelerdir. Ayrıca sabun stoğundan yağ asitleri elde etmek için her biri 25 ton kapasiteli iki adet yağ asidi tankı bulunmaktadır. Bu ünitelerden de asidik atıksu oluşmaktadır. Fabrikanın toplam atıksu debisi ortalama $315.88 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür.

Tohum kabul istasyonuna gelen tohumlar, helezon ve elevatör vasıtasıyla eleklerle gelmekte ve burada tohumun kaba ve toz halindeki safsızlıkları alınmaktadır. Üretimde devamlılığı sağlamak için 4 500 tonluk 3 adet silo yapılmıştır. Silolardan alınan tohum otomatik kantara verilmekte ve günlük beslemeye göre zaman ayarlı kantarda 30 sn de ortalama 35 kg tohum işleme alınmaktadır. Tohum işleme kapasitesi 110 ton/gün 'dür. Günlük besleme kantar üzerindeki zaman ayarlı yazıcıdan, 24 saatlik boşaltım sayısına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Daha sonra tohum, yivli kırıcı valslerle gelerek kırılmaya tabi tutularak, şartlandırma tavlalarına iletilmektedir. Burada tohumda mevcut olan bağıl nemin bir kısmı uçurulur ve 60°C civarında kavrularak pullama valslerine iletilir. Pullama valslerinde tohumların yüzeyleri 50 kg F/cm^2 lik basınç ile 27 mm 'ye ayarlanır. Burada yüzey artırılarak çözücünün yağı iyi ekstrakte etmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.1. Yağ Fabrikası Proses Akım Şeması.

Sonraki aşama ekstraksiyon ünitesidir. Ekstraksiyon ünitesine gelen hammadde kırılmış, şartlanmış ve yağı alınmaya hazır hale gelmiş tohumdur. Ekstraksiyonda çözücü madde olarak hekzan kullanılmaktadır. Hekzan, ekstraktör cihazında duşlama ile yağı bünyesine absorblamaktadır.

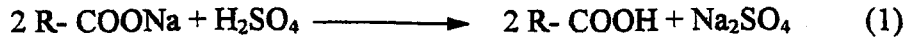
Ekstraktör, ters akım prensibine göre 55 °C de çalışmaktadır. Burada yağı bünyesine alan hekzan destilasyon kademesine, hekzan-küspe karışımı ise toastere

alınarak hekzan geri kazanılmaktadır. 55 °C de çalışan toasterde aynı zamanda küspenin nemi de ayarlanmaktadır. Üst kısımdan hekzan buhar halinde alınmakta ve duşlama ile, hekzan bünyesindeki küspe tozları ayrılmaktadır. Duşlama işleminde üstten 80 °C de sıcak su gönderilerek hekzan buharındaki tozlar tutulmaktadır. Bu sıcaklıkta su sıvı, hekzan ise gaz haldedir. Destilasyon kolonlarındaki işlemde ise, 600 kg F/cm² lik basınç altında misella (yağ-hekzan) ısıtılıp destilasyon kolonlarına iletilmektedir. Ayrıca duşlamadan gelen hekzan karışımı da destilasyon kolonuna verilmektedir. İşlemde iki kolon mevcuttur. Birinci kolona % 4 oranında direkt buhar verilerek, ham yağın hekzandan ayrılması sağlanmaktadır. Buradan ikinci kolona gönderilerek % 3 buhara tabi tutulmakta olan misella da tüm kısımlar ayrıştırılmaktadır. Bu kolonlarda hekzan ham yağdan ayrıldıktan sonra buhar olarak kondansatöre gelmekte ve burada alttan soğuk su verilerek hekzan soğutulmaktadır. Tutulamayan hekzan ise absorbsiyon ünitesine alınmaktadır. Absorbsiyon ünitesinde gaz haline gelen hekzan, yağ ile karıştırılarak yağ bünyesine almaktadır. Yağın ısıtılması neticesinde de hekzan ayrılmaktadır. Burada ayrılan hekzan-su buharı karışımı alttaki hekzan tankına, ayrılmayan hekzan ise (% 0.7) bacadan dışarı atılmaktadır. Absorbsiyon ünitesinden gelen hekzan ile birlikte su buharı olduğundan 4 bölmeli hekzan tankı taşkal usulü ile yapılmıştır. Son bölmeye kadar sürekli taşarak su alttan alınmaktadır. Bu sular ekstraksiyon ünitesi atıksularını oluşturmaktadır.

Rafine ünitesi, De-Smet dizaynına göre kurulmuştur. 50 ton/gün kapasiteli sıvı yağ üreten ünite de nötralizasyon, vinterizasyon ve deodorizasyon kademeleri bulunmaktadır.

Nötralizasyon, Alfa-lauval, short-mix olarak adlandırılan sürekli bir işlemdir. Seri şekilde bağlanmış 3 adet seperatör, ara pompaları, ısıtıcı ve kurutucudan meydana gelmektedir. Bu işlem ham yağdan sıvı yağ üretiminin ilk safhasıdır. İşlemin amacı, ham yağ içerisindeki serbest yağ asitlerini bir alkali (kostik) vasıtası ile nötralleştirip, sabun stoğu (soap stock) şeklinde yağdan ayırmaktır. Ayrıca fosforik asit kullanarak yağ bünyesindeki gumlar da (fosfatit vb.) sabun stoğu şeklinde yağdan arındırılmaktadır. Bu işleme degumming denir. Rafinede asit degummingi uygulanmaktadır. Ham yağ tankından pompalanan ham yağ, ısıtıcıda 35 °C'de ısıtılıp, degumming karıştırıcı pompalarına gelmekte ve fosforik asit ile karıştırılmaktadır. Fosforik asit bir kısım gumları ayırmak için kullanılmaktadır. Nötralize karıştırıcısına gelen yağ 20° baumelik

kostik ile nötrale işlemleri için karıştırılmaktadır. Kostik yağ içerisindeki serbest yağ asitlerine göre verilmektedir. Yağ, buradan 1. seperatöre gelmekte ve bu santrifüj seperatöründe santrifüj kuvvetiyle yağ içerisinde teşekkül etmiş olan sabun stoğu yağdan ayrılmaktadır. Elde edilen sabun stoğu parçalanma ünitesine (yağ asidi ünitesine) gönderilmektedir. Yağ asidi üretimi ünitesinde sabun stoğu (R-COONa), sülfürik asit ile parçalanarak serbest yağ asitleri ve nötral yağ içeren yağ asitleri (R- COOH) üretimi yapılmaktadır (1). Ancak bu fabrika bünyesinde sabun üretimi olmadığından sabun stoğu, yağ asitlerine dönüştürülmekte ve yan ürün olarak satılmaktadır.



Bu işlemden sonra içerisinde bir miktar sabun kalan nötr yağ, yağ yıkama kademesine gelmektedir. 2. santrifüj seperatör ve 2. yıkama mikserinden geçen yağa gerek görüldüğü takdirde tekrar kostik verilebilmektedir. Kalan bir miktar sabun ise 3. seperatörde ayrılmaktadır. Burada geçen yağ miktarının % 5-10 u kadar sıcak su verilerek, su ile yağ birbirlerinden ayrılmaktadır. Rutubetli yağ vakum kurutucusuna gönderilerek suyu buharlaştırılmaktadır ve yağ nötr hale gelmektedir. Nötralizasyon ünitesi 1. seperatör çıkış sularından yağ asitleri üretilmektedir ve asidik atıksu oluşmaktadır. 2. ve 3. seperatör çıkış suları ise doğrudan deşarj edilmektedir. Bu atıksular rafineri atıksularının en büyük kısmını oluşturmaktadır.

Nötralizasyon işlemleri sonrası elde edilen ham yağ, vintirizasyon ünitesine iletilmektedir. Amaç sıvı yağ içerisinde teşekkül eden ve yağa istenmeyen bir görünüm veren mumsu maddelerin (stearin, vaks vb.) kristal hale getirilerek yağdan arındırılmasıdır. Sistem iki adet yatay filtreden ibarettir. Filtreler ham yağdaki mumsu maddeleri ve stearini alıp, depolayabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Nötr yağ tankından çekilen yağ, bir miktar soğutulup tanka alınmaktadır. Soğutma tankında antifiriz (donma noktası -15 °C olan etilen-glikol + su karışımı) kullanılmaktadır. Yağ serpantinlerden geçirilerek soğutulmaktadır. Filtreler yağı süzüp, içerisindeki stearin ve vaks gibi maddeleri tutması için perlit ile beslenmektedir. Ham yağ 4 veya 5 saat süre ile buradan geçirilerek saflaştırılmakta ve yağ vintirize hale gelmektedir. İşlemlerde kullanılan perlit, bünyesine stearin ve vaksları almaktadır. Perlit ve yağ dışı maddelerin bulunduğu karışımın üzerine, sodyum karbonat ilave edilerek bir tankta karıştırılmakta ve karışım ceket sistemle ısıtılıp dinlenmeye bırakılmaktadır. Yoğunluk farkından dolayı perlit çökelmektedir.

Perlitin üzerinde su ve en üstte stearin ile vakslar bulunmaktadır. Perlit alındıktan sonra tanka su gönderilmekte ve su, stearin ve mumsu maddeleri kaldırdığından bu maddeler de ayrılmaktadır. Ancak bu işlemde % 0.2 oranında yağ kaybı olmaktadır. Atıksu ile deşarj edilen az miktardaki perlit yağ sıyrıcı havuzun tabanında birikmekte ve zaman zaman işçiler tarafından temizlenerek araziye verilmektedir.

Deodorizasyon aşaması, rafinasyonda kullanılan en son işlemdir. Bu işlemde amaç, yağın içerisindeki istenmeyen tat ve koku verici maddelerin ve bir miktar yağ asitlerinin arındırılmasıdır. Aynı zamanda yağ içerisindeki çözünmüş oksijen de uzaklaştırıldığından oksidasyon olayı ortadan kaldırılmaktadır.

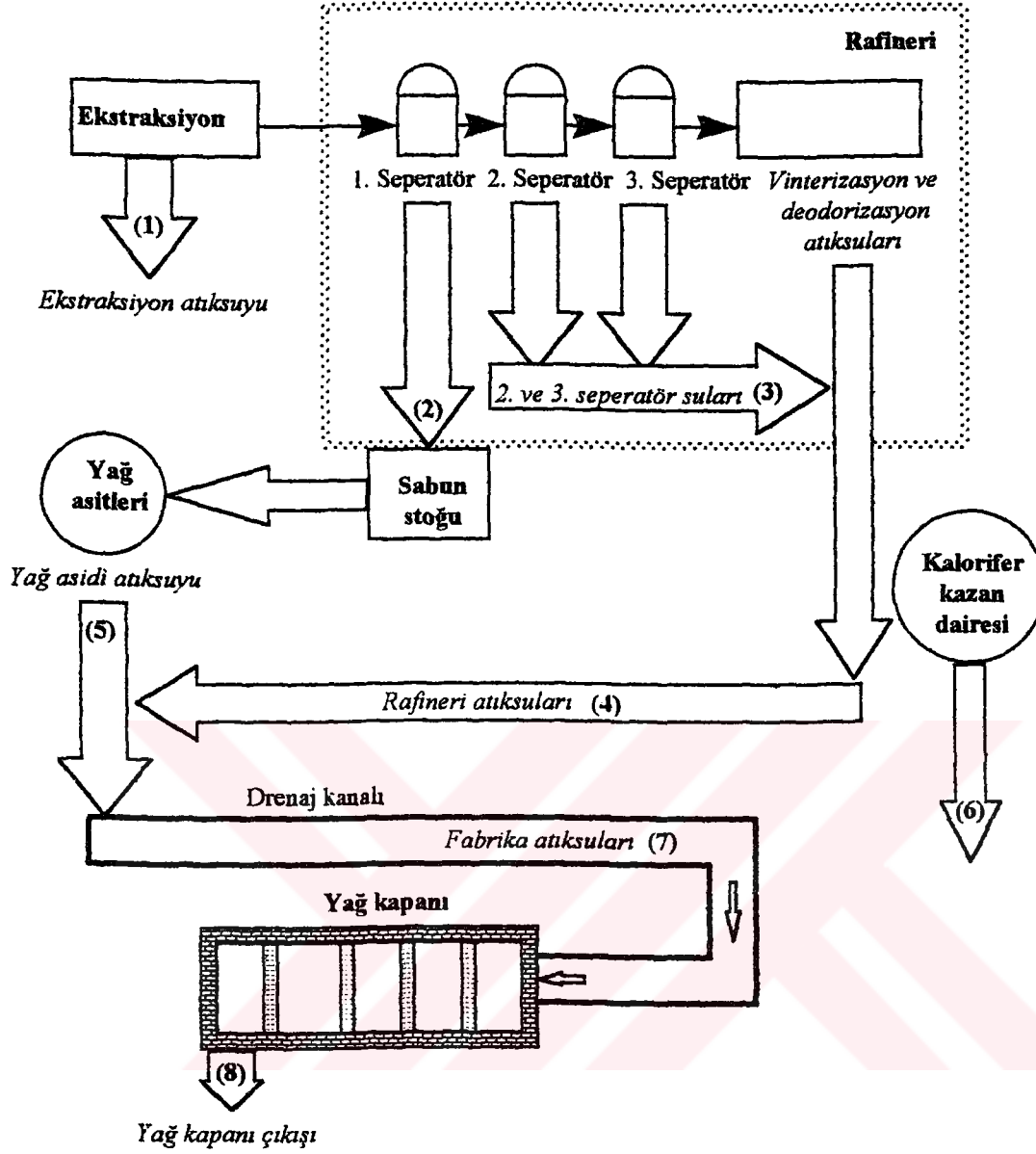
Vinterizeden gelen yağ bir ön ısıtma ile ısıtılmakta ve içerisine direkt buhar verilerek deodorizeye iletilmektedir. Burada yağ 200-220 °C ısıtılırken, sistem de vakum altında tutulmaktadır. Kaynatılan yağ içerisindeki istenmeyen tat ve koku veren maddeler vakum yoluyla yağdan ayrılmaktadır. Kaynatma işleminden çıkan yağ, ısı değiştiriciden geçirilerek soğutulmaktadır. Soğutulmuş yağın sıcaklığının 30 °C veya altında olmasına dikkat edilmektedir. Son işlem olarak elde edilen işlenmiş yağ, mamul yağ tanklarına ve oradan da dolum tesislerine gönderilmektedir.

2.2. Örneklem noktalarının seçimi ve örneklerin alınması

Atıksu örnekleri, ekstraksiyon ünitesi atıksuları (1), 1. seperatör çıkış suyu (2), 2.-3. seperatör çıkış suları (3), rafineri ünitesi çıkış suları (4) yağ asitleri alt fazında oluşan atıksular (5), kazan dairesi atıksuları (6), fabrika çıkışı atıksuları (7) ile yağ kapanı çıkışından (8) alınmıştır (Şekil 2.2).

Arıtılabilirlik çalışmalarında kullanılan atıksu örnekleri 15 günlük periyotlar halinde alınmıştır. Yağ kapanı veriminin belirlenmesi ve YAHÇY'nın ön arıtım sistemi olarak kullanılabilirliğinin tespiti için atıksu örnekleri, yağ kapanı girişi (7) ve çıkışından (8) alınmıştır. Diğer arıtılabilirlik çalışmalarında kullanılan toplam 32 adet atıksu numunesi ise yağ kapanı çıkışından (8) alınmıştır.

Atıksuların karakterizasyon için alınan örnekler, 2 litrelik şişeler ile laboratuara getirilerek gerekli analizler yapılmıştır. Arıtılabilirlik çalışmalarında kullanılan atıksular 30 litrelik plastik bidonlar ile alınmıştır. Her bir ünitenin atıksu debisi, sıcaklığı ve pH'ı fabrikada belirlenmiştir.



Şekil 2.2. Fabrikada Atıksu Oluşturan Birimler ve Atıksu Örneklemme Noktaları.

2.3 Arıtılabilirlik çalışmaları

Fabrika atıksuları üzerinde yapılan arıtılabilirlik çalışmalarında; yağ tutucu, çözülmüş hava flotasyon (CHF) sistemi, asit ile emülsiyon kırma çalışmaları, kimyasal koagülasyon (jar testi cihazı) aktif çamur (AÇ) sistemi ve yukarı akışlı havasız çamur yatağı (YAHÇY) kullanılmıştır. Ayrıca en uygun arıtma tesisinin ortaya konulması amacıyla yürütülen çalışmalarda aşağıdaki arıtım alternatifleri denenmiştir. Bunlar:

1. Serbest yağların alınması
2. Serbest yağların alınması + asit ile emülsiyon kırma ve kireç ile koagülasyon,

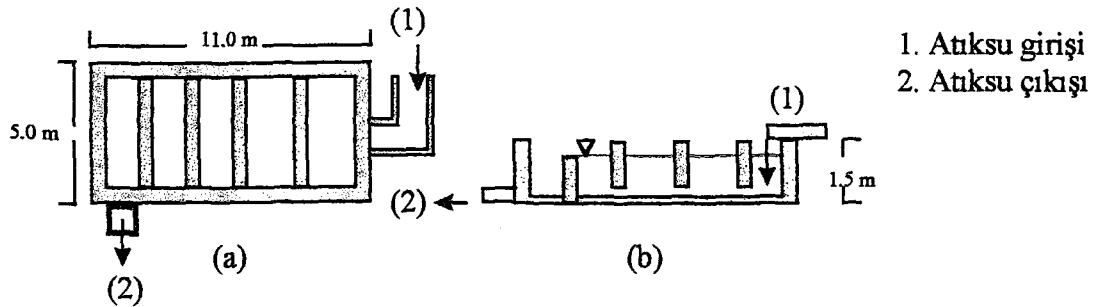
3. Serbest yağların alınması + alum ve demir(III) klorür kullanımı ile koagülasyon,
4. Serbest yağların alınması + CHF,
5. Serbest yağların alınması + CHF + AÇ sistemi,
6. Serbest yağların alınması + CHF + YAHÇY,
7. Serbest yağların alınması + YAHÇY,
8. Ham atıksular + YAHÇY,
9. Serbest yağların alınması + CHF +YAHÇY+ AÇ sisteminden ibarettir.

2.3.1. Serbest yağların alınması

Serbest yağlar fabrikada bulunan paralel olarak dizayn edilmiş beş adet bölmeden oluşan ve taşkal usulü ile çalışan yağ kapanında tutulmaktadır. Yağ kapanı 5 m eninde, 11 m uzunluğunda ve 1.5 m derinlikte olup, toplam havuz hacmi 62.5 m^3 'tür. Yağ tutucuda ortalama hidrolik bekleme süresi (HBS) ortalama 0.22 gün veya 5.28 saat'tir.

Havuz, tamamen beton malzemeden yapılmıştır ve yağ sıyrıcı sistem bulunmamaktadır. Yüzeyde biriken yağlar belirli periyotlarla fabrikadaki görevliler tarafından alınarak toplanmaktadır. Havuz tabanında biriken perlit ve diğer çökebilir maddeler ise arazide depolanmaktadır.

Serbest yağların alınmasından sonra yağ kapanından çıkan atıksular araziye deşarj edilmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar, yağ kapanı veriminden ibarettir. Bu amaçla yağ kapanı girişi (7) ve çıkışından (8) örnekler alınarak pH, KOİ, yağ-gres, TKM, AKM ile UKM analizleri yapılmış ve sistem verimi tespit edilmiştir. Yağ kapanı ve boyutları Şekil 2.3'te belirtilmektedir.

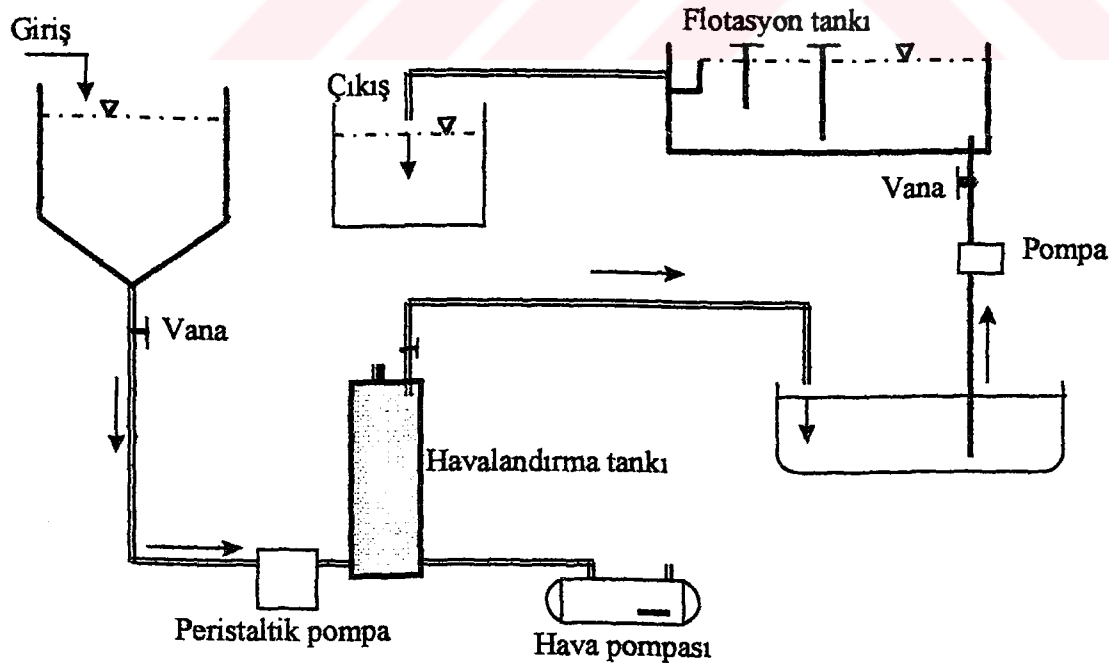


Şekil 2.3. Yağ Kapanı; (a) Üstten Görünüş, (b) Uzunluğuna Kesit Görünüşü.

2.3.2. Çözünmüş hava flotasyon (CHF) sistemi

Çözünmüş hava flotasyon sistemi, Imhoff hunisi şeklindeki 10 litre hacimli plastik bir tank, hava pompası, PVC borudan yapılan 3 litre hacimli bir havalandırma tankı ile bunlara bağlı 121.5 L hacme sahip bir çökeltim havuzundan (Armfield Model Sedimentation Tanks) ibarettir. Çökeltim havuzu, flotasyon amacıyla modifiye edilmiştir. Serbest yağlardan arındırılmış ve farklı pH değerine sahip olan atıksular, bir peristaltik pompa vasıtasıyla havalandırma tankına iletilmekte ve hava pompası çalıştırılmaktadır. Havalandırma (basınçlandırma) ünitesine ortalama 4 atmosfer basınçta kadar hava verilmektedir. Daha sonra basınç kaldırılarak atıksu-hava karışımı basınçlı bir şekilde flotasyon tankına gönderilmektedir. Flotasyon tankı, 90 cm uzunlukta, 45 cm eninde ve 30 cm derinliktedir. Tank içerisinde 2 adet paralel sıyrıcı bulunmaktadır. Atıksu, plakaların tabanından geçmekte ve flotasyon tankı sonundan deşarj edilmektedir. Flotasyon tankı üzerinde biriken ve serbest olarak yüzen yağlar, yüzeyden sıyrıcılar yardımıyla alınmaktadır (Şekil 2.4).

Flotasyon tankında hidrolik bekleme süresi 24 saat olarak sabit tutulmuştur. Sistemin girişi ve çıkışından alınan numunelerde, yağ-gres, KOİ, TKM, AKM ile UKM analizleri yapılmıştır.



Şekil 2.4. Çözünmüş Hava Flotasyon Ünitesinin Şematik Görünümü.

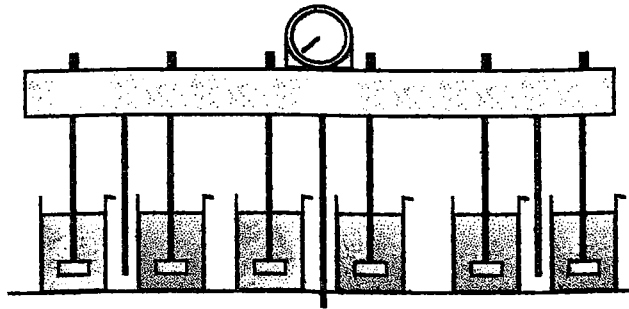
2.3.3. Asit ile emülsiyon kırma ve kireç ile koagülasyon

Emülsiyon kırma çalışmaları % 37 HCl (Merck) ve % 98 H₂SO₄ (Merck) çözeltileri ile gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, atıksuda emülsüfiye halde bulunan yağların düşük pH (pH=2-3) şartlarında serbest yüzebilen yağ haline dönüştürülmesi ve atıksudan uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Bu çalışmalarda, manyetik karıştırıcı ve pH metre (Jenway 3010 pH) kullanılmıştır. Atıksu numuneleri 1 L'lik behere alındıktan sonra üzerine, otomatik pipetlerle yavaşça asit ilavesi yapılarak son pH değerleri kaydedilmiştir. Böylece atıksuyun pH değerini 2-3 civarına düşürmek için hangi asidin daha fazla etkili olduğu araştırılmıştır.

Serbest yağları alınmış ve asit ilavesiyle pH'ı yaklaşık olarak 2-3 değerine getirilmiş olan asidik atıksular, Jar Test düzeneğine alınarak ticari sönmüş kireç ile koagülasyona tabi tutulmuştur. Kireç ile koagülasyon deneyinde 2 dakika hızlı (120 devir/dakika), 15 dakika yavaş (30 devir/dakika) karıştırma süresi uygulanmıştır. 30 dakikalık çökelme işleminden sonra orta fazdan pipetle alınan numunelerde analizler yapılarak arıtma verimi belirlenmiştir. Numunelerde KOİ, AKM, TKM ve yağ-gres analizleri yapılmıştır. Ayrıca atıksudaki sülfatın ne oranda giderildiğini tespit etmek için iki seri deney yapılmıştır.

2.3.4. Alum ve demir(III) klorür ile koagülasyon

Kimyasal koagülasyon deneylerinde yağ kapalı çıkış suları (8) kullanılmıştır. Deneyler, hızı 0-120 devir/dakika arasında ayarlanabilen 6 pedallı Jar Test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Jar Testi Düzeneği.

Deneylerde alum (Merck) ve demir (III) klorür (Merck) ile koagülant yardımcısı olarak üç farklı kil örneği denenmiştir. Kil örneklerinden sadece biri ile başarılı sonuçlar alınmıştır. Etkili koagülant olarak belirlenen alum, demir (III) klorür ve alum+kil ile yapılan çalışmalar hızlı karıştırma, yavaş karıştırma ve dinlendirme olmak üzere üç kademedede gerçekleştirilmiştir.

Hızlı karıştırma 2-4 dakikalık süre ile 100 devir/dakika hızda, yavaş karıştırma 15-30 dakika süre ile 20 devir/dakika hızda yapılmıştır. Çökelme süresi 30 dakika olarak seçilmiştir. Kullanılan maddelerin farklı pH değerlerindeki atıksularda arıtma verimine (KOİ, AKM, TKM ve yağ-gres giderimi olarak) etkisi belirlenmiştir.

2.3.5. Aktif çamur (AÇ) sistemi

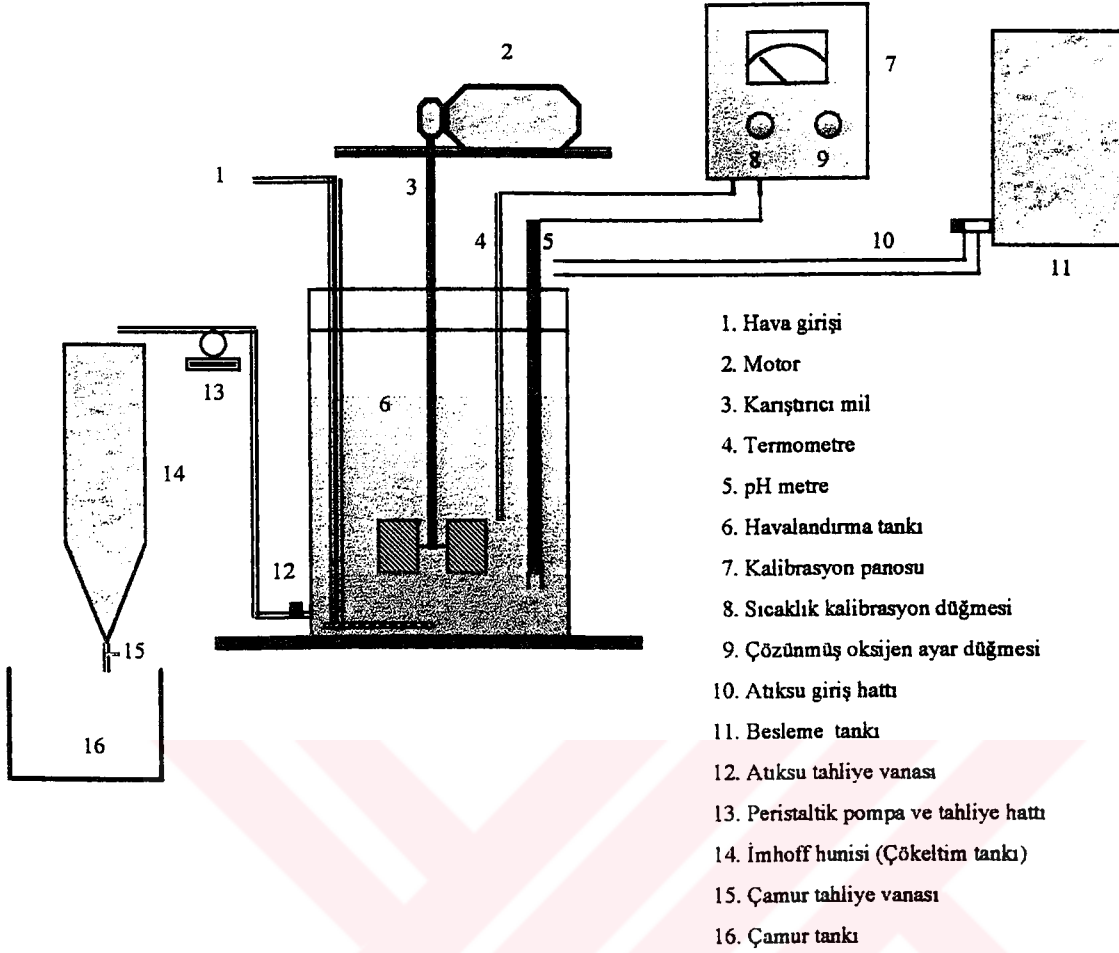
AÇ sistemi olarak 33 L hacimdeki bir (Armfield Aeration Apparatus) havalandırma sistemi kullanılmış olup, ayrıca su sisteme birer adet atıksu besleme tankı ve son çökeltim havuzu ilave edilmiştir (Şekil 2.6).

AÇ sistemi ile arıtılabilirlik çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada yarı kesikli besleme uygulanmış olup, yağ kapanı çıkış sularının (8) CHF'nda işleme tabi tutulmasının ardından AÇ sistemi denenmiştir. İkinci aşamada ise, yağ kapanı çıkış sularının (8) CHF ve bunlara ilave olarak YAHÇY'da arıtıma tabi tutulmasının ardından yarı kesikli ve sürekli beslemeli AÇ sistemindeki arıtma verimleri irdelenmiştir.

Tüm atıksularda pH ayarlaması sodyum hidroksit ve hidroklorik asit ile yapılmıştır. Arıtılabilirlik çalışmalarında pH 7.0-7.5 aralığında tutulmuştur. Besin maddesi ilavesi ise ticari gübre olarak kullanılan % 10'luk üre çözeltisi ile sağlanmıştır.

Arıtımda kullanılan aşı çamuru, Elazığ Belediyesi Evsel Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınmış olup, aşı/atıksu oranı 3/10 olacak şekilde havalandırma tankına konulmuştur. Havalandırma havuzunda çözünmüş oksijen konsantrasyonu 2.8-3.2 mg/L ve sıcaklık 19-21 °C arasında tutulmuştur. Sistem performansının kararlı hale gelmesi üzerine çalışmalara yarı kesikli ve sürekli besleme ile devam edilmiştir.

Çalışma periyodu boyunca sisteme geri devir işlemi uygulanmamıştır. Aktif çamur sisteminde yapılan arıtılabilirlik çalışmalarında, sıcaklık, pH, KOİ, yağ-gres,TKM ve AKM giderme verimleri irdelenmiştir.

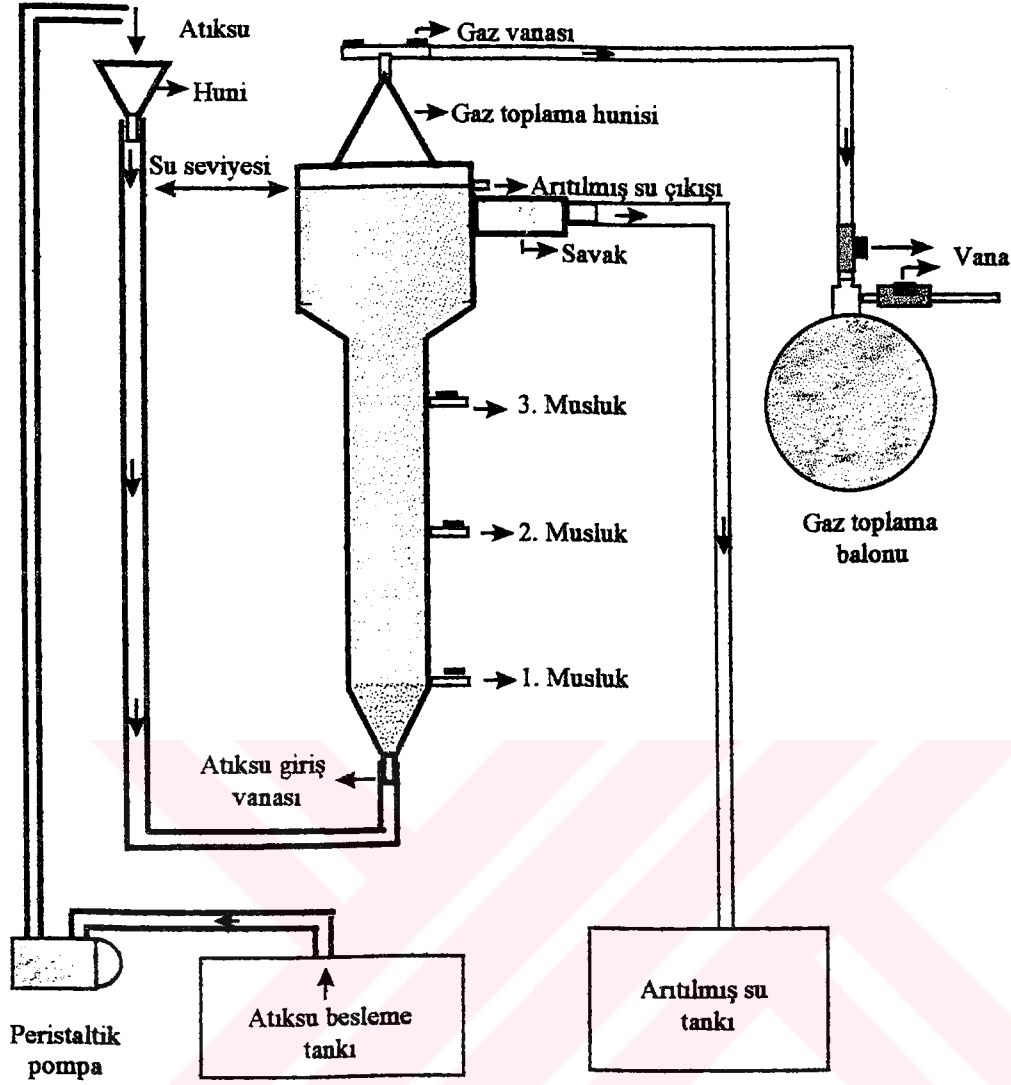


Şekil 2.6. Pilot Ölçekli Aktif Çamur Sistemi

2.3.6. Yukarı akışlı havasız çamur yatağı (YAHÇY)

Atıksuların anaerobik olarak arıtılabilirliğini incelemek için, 33 L hacimli fiberglas malzemeden yapılan pilot ölçekli reaktör kullanılmıştır. Reaktörün, alt kısmı 100 cm yükseklikte ve iç çapı 15 cm, üst kısmı ise 35 cm çapında ve 30 cm yüksekliktedir. Reaktördeki su seviyesi yüksekliği 125 cm olacak şekilde üst kısımdan tahliye sağlanmaktadır. Tahliye borusunun alt kısmına bir savak yerleştirildi. Reaktör boyunca her 30 cm de bir numune alma musluğu, üst kısma ise bir gaz toplama hunisi konularak, huninin üzerine T şeklinde bir vana yerleştirildi (Şekil 2.7).

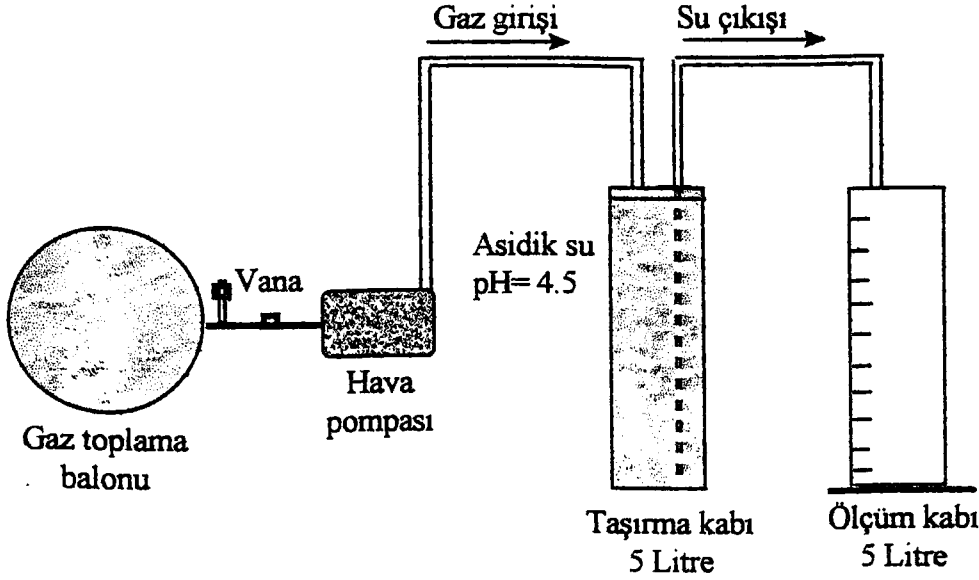
Gaz vanasının ucuna bir hortum vasıtasıyla gaz toplama balonu bağlandı. Balon giriş ve çıkışına da birer vana yerleştirildi. Atıksu, besleme tankından debi ayarlı bir peristaltik pompa (Masterflex, Cole-Parmer Inst. 6-600 Rpm) ile çekilen atıksu, reaktöre alt kısımdan verildi.



Şekil 2.7. Yukarı Akışlı Havasız Çamur Yatağı.

Atıksu reaktör yüksekliği boyunca oluşan granüler çamur ile temas etmekte ve bakteri faaliyetlerine maruz kalarak arıtım sağlanmaktadır. Arıtılmış atıksu, reaktörün üst kısmından savağa dökülmektedir. Bir kısım biyokütle ve çökebilir maddeler savak tabanında birikmektedir. Reaktör alıştırma devresi dışında geri devirsiz olarak çalıştırılmıştır.

YAHÇY ile yapılan çalışmalarda, sistemde oluşan gaz karışımı, gaz toplama balonunda biriktirildi (Şekil 2.8). Biriken gazın miktarını belirlemek için, sistemden balona gelen gaz hortumu üzerindeki vanalar kapatılarak, balon hortumundan çıkartıldı.



Şekil 2.8. Gaz Ölçüm Düzenegi.

Toplanan gaz, ilk olarak bir enjektöre alınarak gaz kromatografisine (SRI 8610 model) enjekte edildi. Toplam gaz içerisindeki gaz karışım yüzdeleri Integratör (ATI Unicam 4815 model) ile hesaplandı. Gaz analizlerinde taşıyıcı olarak helyum gazı ve silika jel dolgulu kolon kullanıldı. Kolon 100 °C ve dedektör 110 °C sıcaklıkta tutuldu.

Karışımındaki gaz bileşenleri belirlendikten sonra balon, Şekil 2.8' de görüldüğü gibi hava pompasının emiş kısmına bağlanarak, pompa çalıştırıldı. Pompa çıkışı, kapalı ve asidik su (karbondioksit ile doyurulmuş ve pH=4.5) ile doldurulmuş bir kaba bağlantılı olduğundan, sisteme giren gaz miktarı kadar sistemden su taşmaktadır.

Daha sonra hava pompası yardımıyla balondaki gazın tamamen boşaltılması sağlanarak, taşan sıvı hacmi ölçülmekte ve toplam gaz miktarı litre olarak hesaplanmaktadır. Gaz kromatografisinden elde edilen toplam gaz içerisindeki yüzde gaz bileşimleri ve ölçülen toplam gaz hacmi değerlendirilerek YAHÇY'nda organik yüke bağlı olarak oluşan metan miktarları tespit edildi.

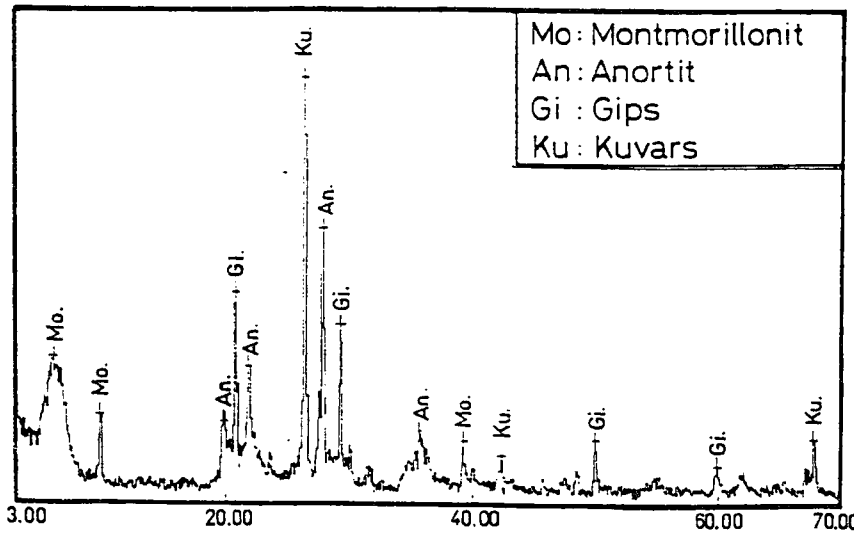
2.4. Yapılan Analizler ve Analiz Metotları

Atıksuların, miktarı, sıcaklığı ve pH'ı (Orion) fabrikadaki örnekleme noktalarında ölçülmüştür. Laboratuara getirilen atıksu numunelerinde KOİ, kjeldahl azotu, alkalinite titrimetrik yöntemle, toplam fosfor persülfat parçalaması yöntemi ile; TKM, AKM, UKM, UAKM ve sülfat gravimetrik yöntem ile tayin edildi (APHA, AWWA, WPCF,

1985). Katı madde tayinlerinde 0-250 °C'de çalışan etüv (Stauart Scientific, Oven 251), 0-1600 °C'de çalışan yakma fırını (Lenton Fhrunaces) ve ABM marka vakum pompası kullanıldı. Kjeldahl azotu tayini, 6 balonlu kjeldahl cihazı (Şimşek Labortenik) ile yapıldı. Toplam fosfor tayininde, spektrofotometre (Spectronic-20 D) kullanıldı. BOİ₃, tayinleri civalı sistemle çalışan BOİ cihazında ve 25 °C sabit sıcaklıkta (Hach, Model 2173 B) yapılmıştır. Yağ-gres tayinleri, Soxhlet Ekstraksiyon Cihazı'nda yapılmış olup, çözücü olarak hekzan (Merck) kullanılmıştır (Chanin,1967).

Koagülant yardımcısı olarak düşünülen kil örneklerinin ana bileşenlerini tespit etmek için İnönü Üniversitesi Araştırma Laboratuvarı'nda kurulu buluna X-Ray Diffraction (XRD) cihazından yararlanılmıştır. XRD analizlerinde Cu α tüpü kullanılmış olup, kağıt hızı 1 cm/dakika, çalışma hızı $1^\circ 2\theta$ / dakika ve sayım 100 cps olarak seçilmiştir. Tokat (Reşadiye), Artvin (Yusufeli) ve Elazığ bölgelerinden alınan kil örnekleri içerisinde Artvin (Yusufeli) bölgesinden alınan kil verimli bulunmuştur. Jips > Anortit > Montmorillonit > Quars yapısında olan bu kil örneğinin X ışını difraktogramı Şekil 2.9'da görülmektedir.

YAHÇY'da yapılan çalışmalarda yağ asitlerinin giderimini belirlemek amacıyla toplam lipid ve yağ asitleri tayin edildi. Yağ asitleri tayininde ATI Unicam Marka (610 Series) Gaz Kromatografisi ve ATI Unicam (4185) Computing Integratör kullanıldı. Standart yağ asitleri metil esterleri ise Sigma Chemical Company'den temin edilmiştir.



Şekil 2.9. Artvin (Yusufeli) Bölgesinden Alınan Kil Numunesinin XRD'daki Yapısal Analizi.

Mevcut standartlar içerisinde kaprik (10:0), laurik (12:0), miristik (14:0), palmitik (16:0), stearik (18:0), araşidik (20:0) ve behenik (22:0) asitler gibi doymuş yağ asitleri ile oleik (18:1) ve linoleik (18:2) asitler gibi doymamış yağ asitleri bulunmaktadır. Analizlerde kullanılan diğer reaktifler Merck kalitesinde ve analitik safliktadır.

Atıksudaki toplam lipidlerin ekstraksiyonu ve miktarını belirlemek için aşağıdaki işlemler yapılmıştır (Cristie, 1990; Kates, 1988):

1. 100 ml atıksu örneğine 10 ml metanol ilave edilerek 1 dakika süre ile karışım homojenleştirildi.
2. Bu karışıma 20 ml kloroform ilave edilerek 2 dakika bekletildi.
3. Karışım bir Buchner hunisinden Nuçe erlenine çift kat mavi bant filtre kağıdı kullanılarak hafif vakum altında süzüldü.
4. Filtre kağıdı tam olarak kurumadan tekrar (2:1 v/v) 20 ml kloroform- metanol karışımı ile yıkandı.
5. Süzme işleminden sonra, toplam süzüntü 100 ml lik ayırma hunisine alındı. Erlen içerisinde kalan bulaşmalar 10 ml kloroform-metanol (2:1 v/v) ile yıkanarak ayırma hunisine aktarıldı.
6. Ayırma hunisi içerisindeki lipid ekstraktının % 25 i kadar % 0.088 lik potasyum klorür çözeltisi ilave edilerek iyice karıştırıldı. Berrak iki fazın ayrılması için 12 saat dinlendirmeye bırakıldı.
7. Altteki kloroform fazının bulanık olması durumunda, ekstakt tekrar (1:1 v/v) metanol + % 0.88 lik potasyum klorür çözeltisi ile yıkandı ve 12 saat bekletildi.
8. Altteki kloroform fazı temiz 100 ml'lik rodajlı bir erlene alınarak susuz sodyum sülfat ile muamele edildi. Böylece eser miktardaki su uzaklaştırıldı.
9. Tamamıyla saf lipid bileşenlerden ibaret olan kloroform fazı bir cam huniden Whatman No:1 filtre kağıdı ile süzüldü.
10. Daha sonra kloroform fazı 40 °C de hafif vakum altında kuruluğa kadar buharlaştırıldı ve hacmi taze kloroform ile 50 ml ye tamamlanarak, 50 ml lik balonjojeler ile gerekli analizler yapılana kadar -25 °C de muhafaza edildi.

Toplam lipid miktarını belirlemek için 50 ml hacimdeki lipid ekstraktından 20 ml alınarak, darası alınmış alüminyum tartı kabına (Mettler) konuldu ve çözücüsü azot akımı altında tamamen uçuruldu. Daha sonra içerisinde fosfor pentaoksit bulunan desikatör

içerisinde 1 saat süre ile bekletilerek sabit tartıma getirildi. Sabit tartıma gelen alüminyum kaplar hassas terazide tartılarak ve kabın darası çıkartılarak 20 ml çözücüdeki lipit miktarı miligram olarak belirlendi. Daha sonra litre atıksudaki toplam lipit miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplandı.

$$\text{Toplam lipit, mg/L} = (50 \times A / 20) \times 1000 / 100 \text{ veya,}$$

$$\text{Toplam lipit, mg/L} = 25 \times A$$

Burada A: Alınan 20 ml ekstrakt içerisindeki mg olarak tartılan toplam lipit miktarıdır.

Toplam yağ asitlerini elde etmek için aşağıdaki işlemler yapılmıştır:

Toplam yağ asitlerini elde etmek için, toplam lipit numunesinden 10 ml alınarak çözücüsü döner buharlaştırıcıda azot akımı altında ve 45 °C'de buharlaştırıldı. Geriye kalan lipit kısmı oksitlenme olayına fırsat verilmeden 3 ml toluende çözülerek 20 ml'lik vida kapaklı ve teflon astarlı deney tüpüne alındı. Üzerine % 99'luk metanolde hazırlanmış % 5 sodyum hidroksit çözeltisinden 5 ml ilave edilerek vorteksle iyice karıştırıldı ve 50 °C'lik su banyosunda 12 saat boyunca hidrolize bırakıldı. Reaksiyon tamamlandıktan sonra, tüpler su banyosundan çıkartılarak oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Her bir tüpün içerisine 5 ml saf su ilave edilerek vorteksle karıştırıldı. Daha sonra karışım (1:1 v/v) oranında 5 ml hekzan-dietil eter karışımı ile 3 kez ekstrakte edildi. Böylece ortamdaki sabunlaşmayan steroller, hidrokarbonlar ve karotenoitlerin uzaklaştırılması sağlandı. Sabunlaşmayan faz 4 ml saf su ile tekrar yıkanarak muhtemel sabunlaşabilen materyalin geri kazanılması sağlandı.

İçerisinde sabunlaşmış halde yağ asitlerini bulunduran su fazları pH = 1'e kadar 6 M HCl ile asitlendirildi. Böylece sodyum tuzları halinde bulunan yağ asitleri sodyum iyonundan kurtarılarak, serbest yağ asitleri durumuna getirildi. Yağ asitleri (1:1 v/v) oranında 5 ml hekzan-dietil eter karışımı ile 3 kez ekstrakte edildi.

Üst fazda bulunan dietil eter-hekzan karışımı ayrılarak susuz sodyum sülfat ile muamele edildi ve Whatman No:1 fitre kağıdı ile süzülerek, eser miktardaki su ve sodyum sülfatın ayrılması sağlandı. Son işlem olarak dietil eter-hekzan fazı 10 ml hacme gelinceye kadar 40 °C'lik su banyosunda deriştirildi ve 10 ml'lik rodajlı balonjojelere alınarak, toplam yağ asidi tayinleri yapılmaya kadar 25 °C'de muhafaza edildi.

10 ml'lik rodajlı balonjojelere konulan örnekler, kloroform ile yıkanmış Mettler tartı kabına alınarak, çözücüsü azot akımı altında uçuruldu ve tartım işlemi toplam lipit

tayininde olduğu gibi yapıldı. Böylece 10 ml çözücünde bulunan yağ asitleri miktarı mg olarak tespit edildi. Atıksudaki toplam yağ asidi miktarı aşağıdaki formül ile hesaplandı:

$$\text{Toplam yağ asidi, mg/L} = (50 \times B / 10) \times 1000 / 100 \text{ veya}$$

$$\text{Toplam yağ asidi, mg/L} = 50 \times B$$

Burada, B: Alınan 10 ml ekstrakt hacmindeki mg olarak tartılan toplam lipid miktarıdır.

Yağ asitleri metil esterlerinin hazırlanmasında, toplam lipid numunesinden 10 ml alınarak, çözücüsü 40 °C'de döner buharlaştırıcıda azot akımı altında uçuruldu. Kalan kısım 3 ml tolüende çözülerek 20 ml'lik SCHOT GL marka deney tüpüne alındı ve üzerlerine % 2'lik metanolik sülfürik asitten 5 er ml ilave edilerek karıştırıldı. Bu karışım 50 °C sıcaklıktaki su banyosunda 12 saat süre ile metilleşmeye bırakıldı ve oda sıcaklığına kadar soğutulan numuneye, 5 ml % 5 sodyum klorür çözeltisinden ilave edildi. Hekzan fazı, 30 ml'lik bir ayırma hunisine alınarak 5 ml % 2 potasyum bikarbonat çözeltisi ile yıkandı. Faz ayırımından sonra hekzan fazı 20 ml'lik deney tüplerine alınarak susuz sodyum sülfat ile kurutuldu. Numune Whatman No: 1 filtre kağıdından süzülde ve sodyum sülfattan ayrıldı (Cristie, 1990). Azot akımı altında çözücüsü uçurulan numunelere 3 ml hekzan ilave edilerek metil esterlerinin çözünmesi sağlandı. Karışımlar, analizler yapılncaya kadar -25 °C'de derin dondurucuda saklandı.

Öte yandan, % 90-95 saflıktaki yağ asidi metil esterleri karışımları (Sigma Chemical Company) gaz kromatografisine enjekte edilerek alıkonma pikleri ayrılncaya kadar şarlarla oynandı ve alıkonma süreleri saptandı (Tablo 2.1). Piklerin ayrılmasından sonra numuneler 1µm'lik enjektörle ATI Unicam Marka (610 Series) Gaz Kromatografisi'ne enjekte edildi. Elde edilen kromogramlardaki piklerin alanı ve ATI Unicam (4185) Computing Integratör ile hesaplandı.

Tablo 2.1. Gaz Kromatografide Yağ asitlerinin Analizini Yapmak İçin Optimize Edilen Şartlar.

Dedektör	Alev iyonlaştırma dedektörü (FID)
Kolon	DB-WAX, 2 x 15 m
Sıcaklık programı	Dedektör : 210 °C Enjeksiyon : 200 °C Kolon : 110-185 °C arasında programlı. (İlk sıcaklık 5 dk, 5 °C/dk ve son sıcaklık 15 dk)
Gaz akış hızları	Azot : 1 ml/dk Hidrojen : 33 ml/dk Hava : 330 ml/dk
Enjeksiyon hacmi	1 µl

3. BULGULAR

3.1. Atıksuların Karakterizasyonu

Çalışma süresince, atıksuların karakterizasyonu için atıksu oluşturan birimlerden alınan 32 adet numunede yapılan analiz ve ölçüm sonuçlarının minimum ve maksimum değerleri belirlenmiştir. Fabrikada, ekstraksiyon ünitesi atıksuları rafineri ünitesi atıksularından ayrı olarak deşarj edilmektedir. Ayrıca, ham yağ tanklarının doldurulması ile ekstraksiyon ünitesi devreden çıkartılmaktadır. Dolayısıyla ekstraksiyon ünitesi ile rafineri ünitesi çok sınırlı bir zamanda birlikte çalıştırılmaktadır. Ekstraksiyon ünitesi atıksularında yapılan ölçüm ve analizler ile elde edilen sonuçlar Tablo 3.1' de verilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre sadece ekstraksiyon ünitesi atıksuları, yüksek düzeyde kirlilik yükü ihtiva etmemektedir. Bu atıksular direkt olarak araziye deşarj edilmektedir. Ortalama 126.28 m³/gün'lük debiye sahip olan ekstraksiyon ünitesi atıksuları, diğer proses atıksuları ile karıştırıldığında seyrelme sağlanmaktadır. Hekzan-su karışımın taşkal usulü ile ayrıldığı tankın temizlenmemesi, serbest yağların tank içerisinde birikerek atıksuya karışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, atıksuda bazen 200 mg/L'nin üzerinde yağ-gres konsantrasyonu görülmektedir. Ekstraksiyon ünitesi atıksuları nispeten yağ dışı katı maddeler de içermektedir.

Tablo 3.1. Ekstraksiyon Ünitesi Atıksularının Özellikleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
Sıcaklık, °C	15.24	44.56	54.33
pH	7.14	8.56	7.73
T. Alkalinite, mg CaCO ₃ /L	220	450	246
Yağ-gres, mg/L	80	270	160
KOl, mg/L	200	880	620
BOİ ₅ , mg/L	75	492	220
Sülfat, mg/L	56	105	64
T. Fosfor, mg/L	0.90	9.60	6.60
T. Kjeldahl Azotu, mg/L	7.50	22.40	15.20
TKM, mg/L	840	2600	1860
AKM, mg/L	680	1860	1240
UKM, mg/L	360	780	520
ÇKM, mg/L	120	340	220
Debi, m ³ /gün	118	136	126.28

Tablo 3.2. Sabun Stoğu (1. Seperatör) Atıksularının Özellikleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
Sıcaklık, °C	79.32	91.20	85.69
pH	11.57	12.82	12.21
T.Alkalinite, mg CaCO ₃ /L	6350	7530	6920
Yağ-gres, mg/L	14840	48600	34350
KOİ, mg/L	76000	220000	132000
BOİ ₅ , mg/L	21600	132480	72300
Sülfat, mg/L	22	146	86
T. Fosfor, mg/L	460	1820	780
T. Kjeldahl Azotu, mg/L	14.60	123.20	46.40
TKM, mg/L	62700	92520	82640
TAKM, mg/L	8200	46600	26380
TUKM, mg/L	56800	86400	64320
TÇKM, mg/L	5540	21400	9180
Debi, m ³ /gün	58.60	60.80	60.20

Nötralizasyon ünitesinde, ilk santrifüj seperatörden çıkan atıksular, yağ asitleri tankına alınmakta, 2. ve 3. seperatörden çıkan atıksular ise direkt olarak yağ kapanına verilmektedir.

Rafineri ünitesi içerisinde yapılan atıksu karakterizasyonu çalışmalarında atıksu oluşturan birimlerden sabun stoğu (1. seperatör çıkışı) atıksuları ölçüm ve analizleri Tablo 3.2’de, yıkama suları (2 ve 3. seperatör çıkışları) ölçüm ve analiz sonuçları Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3. Yıkama Suları (2 ve 3. Seperatörler) Atıksularının Özellikleri

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
Sıcaklık, °C	62.25	71.83	65.68
pH	10.93	12.56	11.15
T. Alkalinite, mg CaCO ₃ /L	1330	2650	1620
Yağ-gres, mg/L	3160	3410	3280
KOİ, mg/L	7800	8240	8090
BOİ ₅ , mg/L	180	860	540
Sülfat, mg/L	85	130	90
T. Fosfor, mg/L	26	42	34
T. Kjeldahl Azotu, mg/L	7.90	34.50	18.60
TKM, mg/L	4320	4680	4560
TAKM, mg/L	2080	2320	2190
TUKM, mg/L	2620	3080	2940
TÇKM, mg/L	1640	1600	1610
Debi, m ³ /gün	62.60	66.52	64.20

Rafineri bünyesinde oluşan sabun stoğu atıksuyu en yüksek kirliliğe sahip bulunmuştur. Oldukça yüksek KOİ ve katı madde içeren bu sular, yağ asitleri tankına alınarak sülfürik asit ilave edilmekte ve üst kısımda oluşan yağ asitleri fazı alınarak satılmaktadır. Alt faz ise rafineri atıksularıyla karışmaktadır. Fabrika atıksuları içerisinde bu atıksular, maksimum pH, KOİ, katı madde, alkalinite ve yağ-gres içeriğine sahip olup, oldukça sıcak sulardır.

Elde edilen bulgulara göre, yağda sabunlaşabilen maddelerin büyük bir kısmı, 1. santrifüj seperatörde ayrılmaktadır. Kalan az miktardaki sabunlaşabilen maddeler 2. santrifüj seperatörde ayrılmakta ve emniyet açısından 3. seperatörden geçirilmektedir. Bu nedenle sıcaklıkları fazla değişmemesine karşın 2. ve 3. seperatör çıkış suları, 1. seperatör çıkış sularına göre daha az kirlilik yükü taşımaktadır. Ortalama pH değeri 9.15 olan bu atıksular, miktar olarak rafineri atıksuları içerisinde en büyük paya sahiptir ve rafineri atıksularının ana yapısını karakterize etmektedir.

Rafineri içerisinde oluşan barometrik kondanser (soğutma) suları, proste kapalı devre sistemi ile sürekli kullanıldığından bu sular atıksu özelliği göstermemektedir. Deodorizasyon ve vinterizasyon ünitesi atıksuları, rafineri atıksularının (Sabun stoğu hariç) birleştiği kanala kapalı sistemle deşarj edilmektedir. Dolayısıyla bu atıksular ayrı olarak karakterize edilememiştir. Rafineri ünitesindeki üretim prosesleri atıksularından (sabun stoğu hariç) alınan numunelerdeki ölçüm ve analiz sonuçları Tablo 3.4 te belirtilmiştir.

Tablo 3.4. Rafineri Atıksularının Özellikleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
Sıcaklık, °C	62.25	68.40	64.56
pH	8.45	10.06	8.82
T. Alkalinite, mg CaCO ₃ /L	1650	3500	1716
Yağ-gres, mg/L	3945	9780	6176
KOİ, mg/L	6000	19600	10420
BOİ ₅ , mg/L	2460	11200	6840
Sülfat, mg/L	156	325	208
T. Fosfor, mg/L	112	510.20	240.56
T. Kjeldahl Azotu, mg/L	46.50	116	76.20
TKM, mg/L	6560	34260	9570
TAKM, mg/L	4030	21360	7920
TUKM, mg/L	4140	8280	4220
TÇKM, mg/L	2430	3120	2950
Debi, m ³ /gün	87.00	106.80	92.60

Elde edilen bulgulara göre rafineri atıksularının pH değeri (8,45 -10,06) bazik bölgededir. Ortalama 92.60 m³ /gün'lük debiye sahip olan bu atıksular, yüksek konsantrasyonlarda KOİ, yağ-gres ve katı madde ihtiva etmektedir. Kirletici konsantrasyonlarının oldukça farklı değerler göstermesi hammadde kalitesi ve işletmedeki aksaklıklardan kaynaklanmaktadır.

Rafinasyon sırasında 1. seperatörden çıkan atıksular (sabun stoğu), rafineri dışındaki yağ asidi tanklarına gönderilerek, burada sülfürik asit ilavesi ile yağ asitleri elde edilmektedir. Fabrikada her biri 25 ton kapasiteli iki adet yağ asidi tankı mevcuttur. Asidik karakterdeki atıksuyun miktarı ise ortalama 71.56 m³ /gün'dür.

Yağ asidi ünitesi alt fazından alınan atıksu numunelerinde yapılan ölçüm ve analiz sonuçları Tablo 3.5'te belirtilmiştir. Yağ asidi ünitesinin alt fazındaki atıksular ise, aşırı miktarda sülfat içermektedir. Bu atıksular, düşük pH değerine sahiptir.

Zaman zaman kullanılan asit miktarının az tutulması, kontrolsüz işletme ve bekleme sürelerine uyulmaması gibi nedenlerden dolayı, bu atıksular ile yüksek konsantrasyonlarda yağ veya yağ asidi kaçağı görülmektedir. Yağ asidi atıksuları, miktar olarak fazla olmamasına karşın kirlilik oranı yüksektir. 1. seperatörden alınan ve asit ilave edilen bu sular, karışım bölgesinde 2. ve 3. seperatörden çıkan atıksuların pH'sını düşürmektedir.

Tablo 3.5. Yağ Asidi Ünitesi (alt faz) Atıksu Özellikleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
Sıcaklık, °C	32.85	60.25	55.30
pH	1.59	2.22	1.97
T. Alkalinite, mg CaCO ₃ /L	-	-	-
Yağ-gres, mg/L	620	3280	932
KOİ, mg/L	4400	10600	9840
BOİ ₅ , mg/L	-	-	-
Sülfat, mg/L	3760	8240	4456
T. Fosfor, mg/L	220	294	182
T. Kjeldahl Azotu, mg/L	42	60	56
TKM, mg/L	16740	40900	32680
TAKM, mg/L	1300	19940	3860
TUKM, mg/L	6040	12100	9810
TÇKM, mg/L	15480	20960	18220
Debi, m ³ /gün	63.40	77.4	71.56

Tablo 3.6. Kazan Dairesi Atıksularının Özellikleri.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
Sıcaklık, °C	8.52	31.46	18.42
pH	6.92	7.28	7.05
T. Alkalinite, mg CaCO ₃ /L	80	196	124.60
Yağ-gres, mg/L	4.85	123	82.42
KOİ, mg/L	20	680	220
BOİ ₅ , mg/L	-	176	90
Sülfat, mg/L	16	180	65
T. Fosfor, mg/L	2.70	10.60	5.84
T. Kjeldahl. Azotu, , mg/L	7.40	18.60	10.20
TKM, mg/L	240	820	560
TAKM, mg/L	28	160	82
TUKM, mg/L	120	520	270
TÇKM, mg/L	80	512	392.60
Debi, m ³ /gün	9.52	14.60	12.50

Fabrikadaki mutfak ile sıhhi kullanımlardan kaynaklanan atıksular, kapalı kanal sistemiyle iletildiği için karakterize edilememiştir. Fabrika yardımcı birimlerinden olan ve fabrika ile proseslerin ısıtılmasında kullanılan kazan dairesi atıksularından alınan numunelerde, elde edilen ölçüm ve analiz sonuçları Tablo 3.6'da verilmiştir. Bu bulgulara göre, kazan dairesi atıksularının miktarı ve kirlilik yükü düşüktür. Ancak zaman zaman atıksulardaki yağ-gres ve KOİ miktarının yükseldiği görülmüştür. Ender olarak rastlanılan bu durum kalorifer kazan dairesinin yıkandığı ve yakıt boşaltıldığı zamanlarda ortaya çıkmaktadır.

Fabrika birimlerinden çıkan atıksular kanallarla birleştirildikten sonra, kaba bir yağ kapanı işleminden geçirilmekte ve daha sonra araziye deşarj edilmektedir. Fabrika atıksularının karakterizasyonu için alınan numuneler, yağ kapanı girişinden alınmıştır. Elde edilen ölçüm ve analiz sonuçları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Elde edilen verilere göre fabrika atıksularının özellikleri büyük bir salınım göstermektedir. Öyle ki çalışma süresince alınan numunelerden elde edilen analiz sonuçlarına göre parametrelerde oldukça farklı değerler elde edilmiştir.

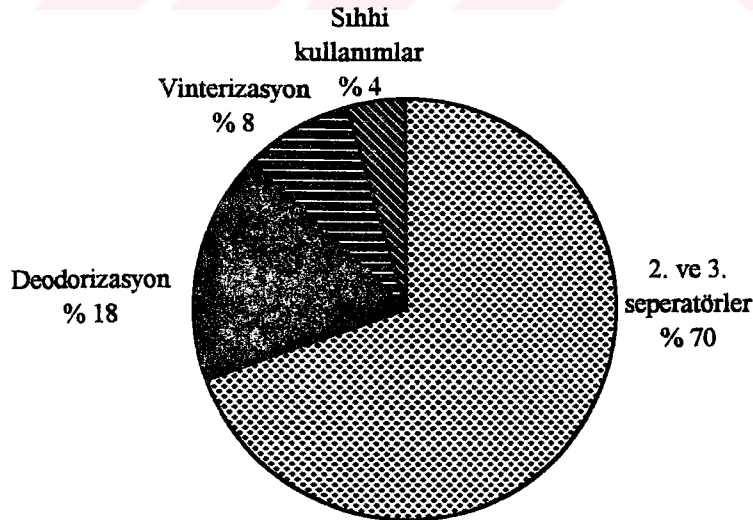
Rafineri ünitesinde atıksu oluşturan birimler ve bu birimlerden kaynaklanan ortalama atıksu miktarları , Tablo 3.8'de ve atıksu oluşturan birimlerin toplam miktar içerisindeki yüzde dağılımları Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Fabrika Çıkışı Atıksu Analiz Sonuçları.

Parametre	Minimum	Maksimum	Ortalama
Sıcaklık, °C	46.45	65.26	49.56
pH	7.43	9.56	8.52
T. Alkalinite, mg CaCO ₃ /L	800	1990	1680
Yağ-gres, mg/L	540	7640	3030
KOİ, mg/L	5600	15300	9350
BOİ ₅ , mg/L	1050	10300	5260
Sülfat, mg/L	160	1080	620
T. Fosfor, mg/L	216	556.20	378.56
T. Kjeldahl Azotu, mg/L	19.80	125.40	76.92
TKM, mg/L	3700	12800	7830
TAKM, mg/L	410	3240	1650
TUKM, mg/L	4300	9680	5820
TÇKM, mg/L	4590	10200	6180
Debi, m ³ /gün	308.60	321.80	315.88

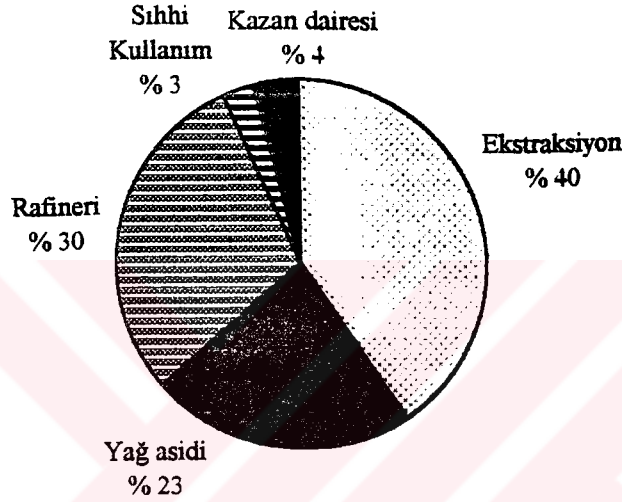
Tablo 3.8. Rafineri Ünitesindeki Atıksu Oluşturan Birimler ve Ortalama Miktarları.

Rafineri ünitesi	Atıksu miktarı (m ³ / gün)
2. ve 3. seperatörler	64.20
Deodorizasyon	16.50
Vinterizasyon	7.80
Sıhhi kullanımlar	4.10
Toplam	92.60

**Şekil 3.1.** Rafineri Ünitesindeki Birimlerden Kaynaklanan Atıksuların Yüzde Dağılımı.

Tablo 3.9. Fabrika Atıksularını Oluşturan Üniteler ve Ortalama Miktarları.

Atıksu oluşturan birimler	Atıksu miktarı (m ³ / gün)
Ekstraksiyon ünitesi	126.28
Rafineri ünitesi	92.60
Yağ asidi üretimi	71.56
Kazan dairesi	12.50
Sıhhi kullanımlar	8.56
Toplam	315.88

**Şekil 3.2. Fabrikada Atıksu oluşturan Birimler ve Atıksuların Yüzde Dağılımı.**

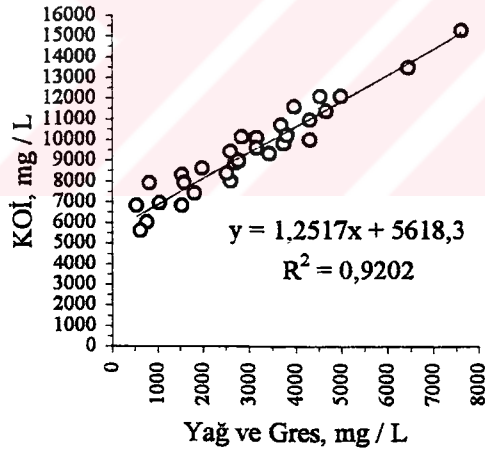
Rafinerideki birimlerden kaynaklanan atıksular içerisinde en büyük pay % 70 ile 2. ve 3. seperatör çıkış sularına aittir. Bunu % 18 ile deodorizasyon, % 8 ile vinterizasyon ve % 4 ile sıhhi kullanım suları izlemektedir.

Fabrika çıkış suyunda, atıksu oluşturan birimler ile atıksu miktarları Tablo 3.9'da, atıksu oluşturan birimlerin toplam atıksu içerisindeki yüzde dağılımları Şekil 3.2'de verilmiştir.

Fabrika çıkış sularında 32 adet numune üzerinde yapılan analizlerde yağ-gres konsantrasyonları ile KOİ arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmada, numuneler itibariyle yağ-gres ile KOİ konsantrasyonları Tablo 3.10'da, atıksularda yağ-gres ile KOİ konsantrasyonları arasındaki ilişki ise Şekil 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.10. Fabrika Çıkış Suyunda Yağ-gres ile KOİ Konsantrasyonları.

Örnek No:	Yağ-gres (mg/L)	KOİ (mg/L)	Örnek No:	Yağ-gres (mg/L)	KOİ (mg/L)
1	2710	8800	17	620	5600
2	1540	8300	18	820	7900
3	4320	10900	19	4320	10000
4	2610	8000	20	1040	6920
5	2850	10120	21	4540	12110
6	3180	10090	22	2610	8000
7	6460	13500	23	2530	8300
8	3760	9800	24	2660	9400
9	7640	15300	25	1600	7900
10	2780	8960	26	540	6800
11	1540	6800	27	3810	8800
12	1990	8610	28	3440	9300
13	4670	11400	29	3980	11600
14	5000	12100	30	3700	10700
15	1820	7400	31	3830	10200
16	760	6000	32	3180	9600



Şekil 3.3. Fabrika Çıkış Suyunda Yağ-gres ile KOİ Konsantrasyonları Arasındaki İlişki.

Şekil 3.3'ten de görüldüğü gibi atıksu numunelerinde KOİ ile yağ-gres konsantrasyonları arasında doğrusal bir ilişki saptanmıştır. Kolerasyon katsayısı (R) 0.959 olup, bu durum KOİ konsantrasyonunun büyük ölçüde yağ-gres konsantrasyonu ile ilişkili olduğunu ortaya koyması açısından önem taşımaktadır.

3.2. Arıtılabilirlik Çalışmaları

3.2.1. Serbest yağların alınması

Yağ kapanı girişi ve çıkışında muhtelif tarihlerde alınan numuneler üzerinde yapılan analizler ile KOİ, yağ-gres, TKM, AKM ve UKM giderme verimleri belirlendi. Önemli bulunan bazı numunelerin sonuçları Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11. Yağ Kapanı’nın Arıtma Verimleri.

Parametre	Giriş	Çıkış	Verim, %
pH	6.96	6.85	-
KOİ, mg/L	14600	10900	25.34
Yağ-gres,mg/L	4860	4320	21.43
TKM, mg/L	8500	7280	19.57
AKM, mg/L	3920	3660	18.58
UKM, mg/L	5440	5300	12.25
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim, %
pH	8.46	8.53	-
KOİ, mg/L	9200	8000	16.27
Yağ-gres,mg/L	2820	2610	12.08
TKM, mg/L	6890	6320	16.69
AKM, mg/L	3080	2820	20.60
UKM, mg/L	5180	4900	23.22
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim, %
pH	7.13	7.08	-
KOİ, mg/L	11600	10120	23.07
Yağ-gres,mg/L	3660	2850	22.13
TKM, mg/L	8270	7640	13.22
AKM, mg/L	5540	4820	27.25
UKM, mg/L	4930	4620	11.60
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim, %
pH	7.42	7.36	-
KOİ, mg/L	12980	10090	22.26
Yağ-gres,mg/L	3860	3180	17.17
TKM, mg/L	16840	13120	22.09
AKM, mg/L	11200	9280	17.14
UKM, mg/L	13510	10900	19.31
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim,%
pH	8.16	8.13	-
KOİ, mg/L	16200	13500	16.67
Yağ-gres,mg/L	7520	6460	15.00
TKM, mg/L	9920	8160	17.74
AKM, mg/L	8500	6820	19.76
UKM, mg/L	9250	7920	14.38

Yağ kapanı girişi ve çıkışından alınan numunelerde yapılan analiz sonuçlarına göre, KOİ giderme verimi % 16.27- 25.34 arsında değişmektedir. Yağ kapanı verimi düşük pH değerine sahip atıksular için oldukça etkilidir. Atıksu pH'ının yükselmesine bağlı olarak giderme verimi azalmaktadır. Örneğin pH'ının 8.46 olması durumunda % 16.27 KOİ ve % 12.08 yağ-gres giderme verimi elde edilirken, atıksuyun pH değerinin 6.96 olması durumunda % 25.34 KOİ ve 21.43 yağ-gres giderme verimi elde edilmektedir.

3.2.2. Çözünmüş hava flotasyonu (CHF)

CHF, atıksulardaki yağın hava kabarcıklarına bağlanarak yüzeye doğru yükselmesi ile yüzebilen haldeki yağların alınması işlemlerini ihtiva etmektedir.

Kullanılan CHF sisteminde, akımın tamamı basınçlandırılmıştır. Atıksulara herhangi bir koagülant veya koagülant yardımcı maddesi ilave edilmemiştir. CHF ile arıtılabilirlik çalışmalarında, yağ kapanı çıkışından alınmış bulunan atıksu numuneleri üzerinde arıtma denemeleri gerçekleştirilmiştir. Farklı pH değerindeki atıksuların CHF ile arıtılabilirlik çalışmalarından elde edilen bazı önemli sonuçlar Tablo 3.12'de verilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre, atıksuların pH değerine bağlı olarak KOİ ve yağ-gres giderme verimleri değişmektedir. Düşük pH şartlarında verim artmaktadır. Bu durum, pH'daki düşüğe bağlı olarak yağ/su ve su emülsiyonlarının kısmen kırılması ve yağ zerreciklerinin hava kabarcıklarına bağlanarak yüzeye doğru taşınmasının kolaylaşması ile açıklanabilir.

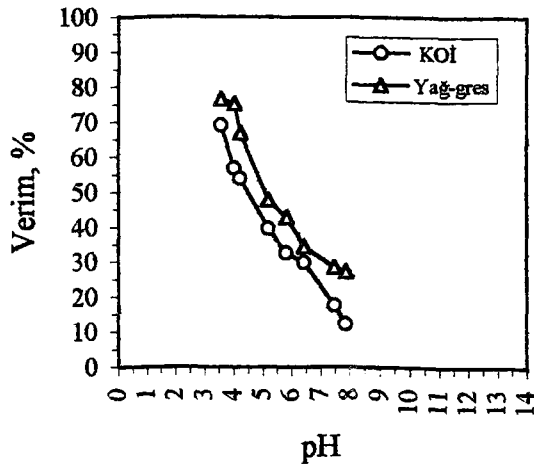
CHF sistemi ile yapılan çalışmalarda % 27.27-76.32 oranında yağ-gres giderimi ve % 12.32-69.12 oranında KOİ giderimi sağlanmıştır.

CHF sisteminde AKM giderimi oldukça düşük düzeyde (% 15.54-57.81 oranında) kalmaktadır. Sonuçlar, CHF ile yağ-gres gideriminin KOİ gideriminden daha yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir.

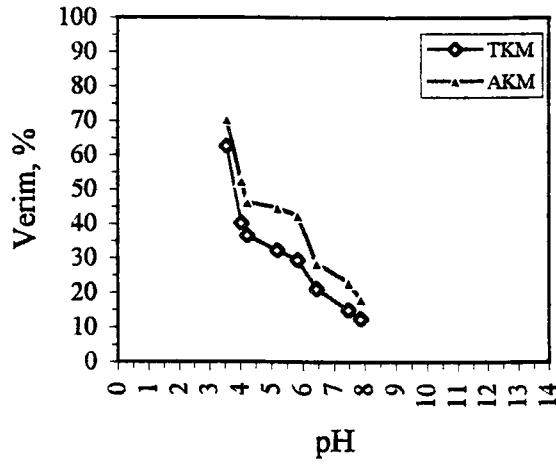
Yapılan analizlerde, pH ile KOİ ve pH ile yağ-gres giderim verimleri arasındaki ilişki Şekil 3.4'te, pH ile TKM ve AKM giderimi arasındaki ilişki ise Şekil 3.5'te görülmektedir.

Tablo 3.12. Yağ Kapanı Çıkışı Atıksularının CHF Sistemi İle Arıtılabilirlik Çalışmaları.

Parametre	Giriş	Çıkış	Verim,%	Giriş	Çıkış	Verim,%
Sıcaklık °C	19.80	19.80	-	18.50	18.50	-
pH	5.83	5.92	-	7.48	7.52	-
KOI, mg/L	9800	6600	32.65	15300	12600	17.65
Yağ-gres, mg/L	3760	2150	42.82	7640	5460	28.50
TKM	6240	4400	29.48	9600	8160	15.00
AKM	3780	2180	42.32	4910	3780	23.00
UKM	4700	2580	45.51	8300	6930	16.51
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim,%	Giriş	Çıkış	Verim,%
Sıcaklık °C	19.80	19.80	-	19.40	19.40	-
pH	4.23	4.16	-	3.56	3.56	-
KOI, mg/L	8960	4600	53.91	6800	2100	69.12
Yağ-gres, mg/L	2780	920	66.91	1540	360	76.32
TKM	7320	4650	36.47	3260	1220	62.58
AKM	4240	2280	46.22	1280	580	57.81
UKM	5710	3660	35.90	1710	540	68.42
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim,%	Giriş	Çıkış	Verim,%
Sıcaklık °C	19.80	19.80	-	17.10	16.80	-
pH	5.18	5.21	-	6.45	6.56	-
KOI, mg/L	8600	5200	39.53	11400	8000	29.82
Yağ-gres, mg/L	1990	1040	47.73	4670	3060	35.71
TKM, mg/L	5600	3740	32.21	8780	6930	21.07
AKM, mg/L	2620	1450	44.66	7210	5160	28.43
UKM, mg/L	4240	3360	20.75	7180	5210	27.43
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim, %	Giriş	Çıkış	Verim, %
Sıcaklık °C	21.80	21.60	-	19.70	19.80	-
pH	7.87	7.75	-	4.83	4.79	-
KOI (mg/l)	12090	10600	12.32	7400	3200	56.75
Yağ-gres (mg/l)	5060	3680	27.27	1820	450	75.27
TKM (mg/l)	9680	8480	12.40	3760	2250	51.60
AKM (mg/l)	8620	7280	15.54	3240	1540	40.16
UKM (mg/l)	7460	6100	18.23	2460	1420	42.27



Şekil 3.4. CHF Sisteminde Atıksuyun pH'ı ile KOİ ve Yağ-Gres Giderme Verimi Arasındaki İlişki.



Şekil 3.5. CHF Sisteminde Atıksuyun pH'ı ile TKM ve AKM Giderme Verimi Arasındaki İlişki.

3.2.3. Asit ile emülsiyon kırma ve kireç ile koagülasyon çalışmaları

Yağ kapanı çıkışından alınan atıksu örneklerinin her biri asit ilavesi ile pH'ları 2-3 civarına getirilerek, emülsiyonların kırılması sağlandı. Daha sonra baz ilavesi ile asitlendirilmiş atıksuyun pH'ı 11,22'ye kadar yükseltilerek gereken baz miktarları belirlendi.

Asit-baz miktarları ile pH arasındaki ilişki laboratuvar ölçeğinde tespit edildi. Deney sonuçları Tablo 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3.13. Asit İle Emülsiyon Kırma ve Kireç ile Koagülasyon Çalışmalarında Harcanan Asit ve Kireç Miktarı ile pH'daki Değişim.

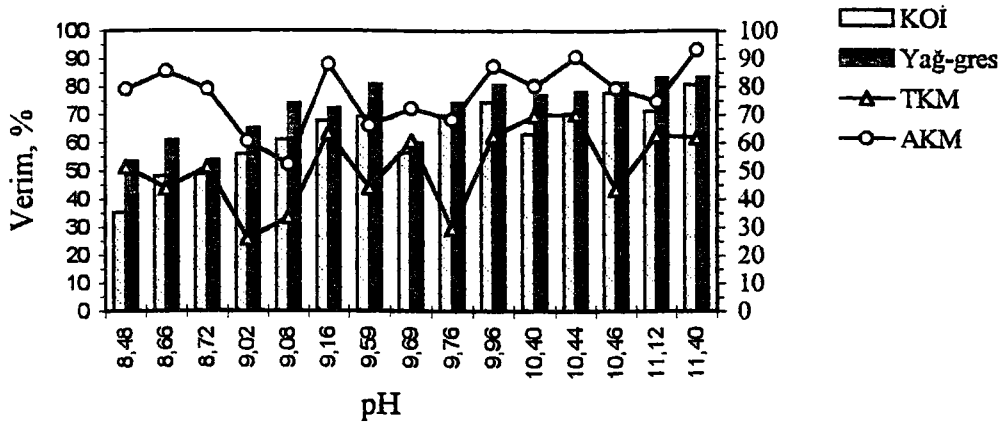
H ₂ SO ₄ , ml	pH	HCl, ml	pH	Ca(OH) ₂ , g	pH
0.00	11.05	0.00	11.05	0.00	2.08
1.00	7.20	1.06	8.60	3.00	2.91
1.25	6.40	1.52	7.05	5.00	3.56
1.50	5.32	2.04	5.80	7.50	4.80
1.65	4.10	2.53	5.14	8.50	5.46
1.75	3.40	3.05	4.29	9.50	6.23
1.85	3.07	3.51	3.20	12.00	7.22
2.00	2.40	4.07	2.50	15.00	8.90
2.05	2.08	4.32	2.00	16.00	10.21
2.10	1.95	4.36	1.98	16.50	11.02

Bir örnek olması açısından, ortalama pH sı 11.05 olan atıksu numunesinin pH'sını yaklaşık olarak 2' ye indirmek ve emülsiyonların kırılmasını sağlamak için, 2.05 ml/L % 98 H₂SO₄ ve 4.36 ml/L % 36 HCl çözeltilerine ihtiyaç duyulmaktadır. pH'ı yaklaşık 2-3 olan atıksuyun pH'ını 10 dolaylarına getirerek çökelmeyi sağlamak için ise ortalama 16-18 g/L kireç gerekmektedir.

Bu denemelerde az hacme ihtiyaç duyulması ve fiyat faktörü göz önüne alınarak emülsiyon kırma işlemlerinin tamamında % 98'lik H₂SO₄ çözeltisi kullanılmıştır. Asit ile pH'ı 2'ye ayarlanmış ve yüzen yağları alınmış bulunan atıksularda farklı miktarlarda baz ilavesi ile gerçekleştirilen Jar Test denemelerinden elde edilen sonuçlar Tablo 3.14 ve şekil 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.14. Asitlendirilmiş Atıksularda Kireç ile Yapılan Jar Testi Deneyleri.

Kireç, g/L	0.00	15.00	Verim, %	15.50	Verim, %	16.00	Verim, %
pH	2.13	8.66	-	9.16	-	10.44	-
KOİ, mg/L	1960	910	48.29	640	67.73	580	70.41
Yağ-gres, mg/L	210	82	60.95	58	72.38	46	78.09
TKM, mg/L	3220	1810	43.79	1180	63.35	960	70.19
AKM, mg/L	1980	290	85.35	240	87.88	184	90.71
Kireç, g/L	0.00	15.00	Verim, %	16.60	Verim, %	17.80	Verim, %
pH	2.00	8.72	-	9.96	-	11.04	-
KOİ, mg/L	5480	2800	48.91	1390	74.63	1060	80.66
Yağ-gres, mg/L	686	312	53.93	132	80.76	114	83.38
TKM, mg/L	3950	1910	51.64	1480	62.53	1510	61.77
AKM, mg/L	2820	590	79.08	362	87.16	194	93.12
Kireç, g/L	0.00	10.20	Verim, %	12.00	Verim, %	13.4	Verim, %
pH	2.56	8.48	-	9.69	-	10.40	-
KOİ, mg/L	3260	2110	35.27	1420	56.44	1200	63.19
Yağ-gres, mg/L	1128	624	53.54	451	60.02	260	76.95
TKM, mg/L	4160	2870	31.01	1640	60.57	1254	69.86
AKM, mg/L	3452	1456	57.82	960	72.19	685	80.15
Kireç, g/L	0.00	9.80	Verim, %	10.25	Verim, %	13.4	Verim, %
pH	2.76	9.08	-	9.59	-	11.10	-
KOİ, mg/L	4110	1600	61.07	1260	69.34	1180	71.28
Yağ-gres, mg/L	1644	426	74.08	312	81.02	278	83.09
TKM, mg/L	3290	2460	33.74	1840	44.07	1228	62.67
AKM, mg/L	2690	1270	52.28	910	66.17	680	74.72
Kireç, g/L	0.00	10.0	Verim, %	12.00	Verim, %	13.2	Verim, %
pH	3.23	9.02	-	9.76	-	10.46	-
KOİ, mg/L	6200	2740	55.81	1880	69.67	1420	77.96
Yağ-gres, mg/L	1282	446	65.21	328	74.41	240	81.27
TKM, mg/L	5240	3880	25.95	1720	65.91	1310	75.00
AKM, mg/L	4610	1824	60.43	1462	68.29	554	79.31



Şekil 3.6. Asitlendirilmiş Atıksuların Kireç ile Koagülasyonu Sonucunda Çeşitli pH Değerlerindeki Giderme Verimleri.

Elde edilen bulgulara göre asit ilavesi emülsüfiye haldeki yağların bir kısmı alınmış olan atıksulara, 15-16 g/L kireç ilavesiyle KOİ konsantrasyonu 260-420 mg/L, yağ-gres konsantrasyonu ise 45-104 mg/L değerlerine düşmektedir. Ancak kireç ile koagülasyonda 1880-2520 mg/L çamur oluşmaktadır. Ayrıca, alıcı ortam standartlarını sağlamak için, pH'ı 10 dolaylarına getirilmiş olan atıksuyun nötralizasyonu için ek asit ilavesi gerekmektedir. Arıtmadan çıkmış suların nötralizasyonu için (pH=7-7.5) 1-1.2 ml/L % 98 H₂SO₄ veya 1.35-1.56 ml/L % 37 HCl çözeltilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Yapılan iki deneysel çalışmada da, kirecin atıksudaki sülfatı ne ölçüde çöktürebildiği araştırılmıştır. Bu çalışmalara göre, 840 mg/L ve 1280 mg/L sülfat konsantrasyonuna sahip atıksularda kireç ile muamele görmüş sulara sülfat miktarları, sırası ile % 24 ve % 27 oranlarında azalarak, 605 mg/L ve 970 mg/L değerine düşmüştür.

3.2.4. Alum ve demir (III) klorür ile koagülasyon

Bir önceki çalışmada olduğu gibi koagülasyon çalışmalarında da yağ kapanı çıkış suları kullanılmıştır. Bu atıksuların sıcaklığı 19.00-24.00 °C, pH'ı 6.18-8.89 aralıklarında olup, KOİ ve yağ-gres konsantrasyonları sırası ile 8300-10120 mg/L ve 1540-4320 mg/L aralıklarındadır. Bu atıksularda TKM 5860-7640 mg/L ve AKM 2820-4940 mg/L aralığında değişmektedir.

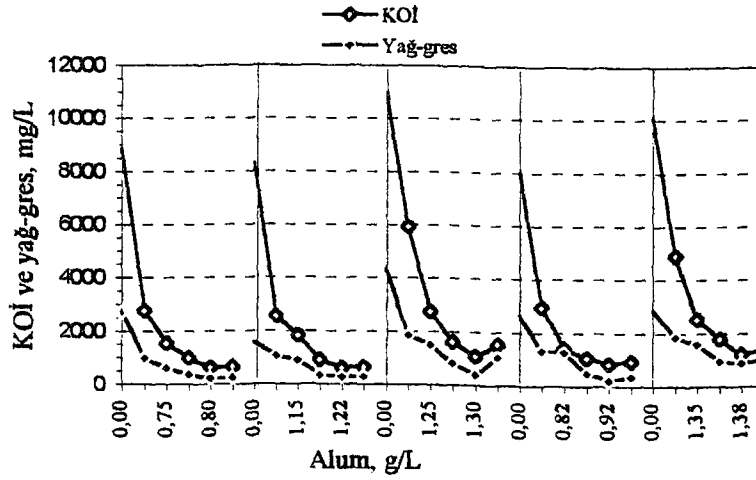
Atıksu numunelerine alum, demir (III) klorür ve alum+kil, kullanılarak Jar Testi uygulanmıştır. Atıksu numuneleri 1 litrelik beherlere alınarak 2-4 dakika hızlı (100

devir/dakika), 15-30 dakika yavaş (20 devir/dakika) karıştırmaya tabi tutulmuştur. 30 dakikalık çökeltme süresinden sonra üst fazdan alınan numunelerde gerekli analizler yapılmıştır. Farklı atıksu örneklerinde, alum ile yapılan jar testi sonuçları Tablo 3.15'te, demir (III) klorür ile yapılan jar testi sonuçları Tablo 3.16'da toplu olarak verilmiştir. Alum ile yapılan çalışmalarda koagülant madde dozlarına karşılık gelen arıtma verimleri Şekil 3.7'de, demir (III) klorür ile yapılan çalışmalarda koagülant madde dozlarına karşılık gelen arıtma verimleri ise Şekil 3.8'de görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, optimum dozun alum için 0.74-0.92 mg/L, demir (III) klorür için ise 0.47-0.82 mg/L aralığında olduğu tespit edilmiştir. Ancak koagülasyonda kullanılan doz miktarı, atıksuyun pH değeri, KOİ ve yağ-gres konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir.

Tablo 3.15. Farklı Atıksu Örneklerinde Alum [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$] ile Yapılan Jar Testi Sonuçları.

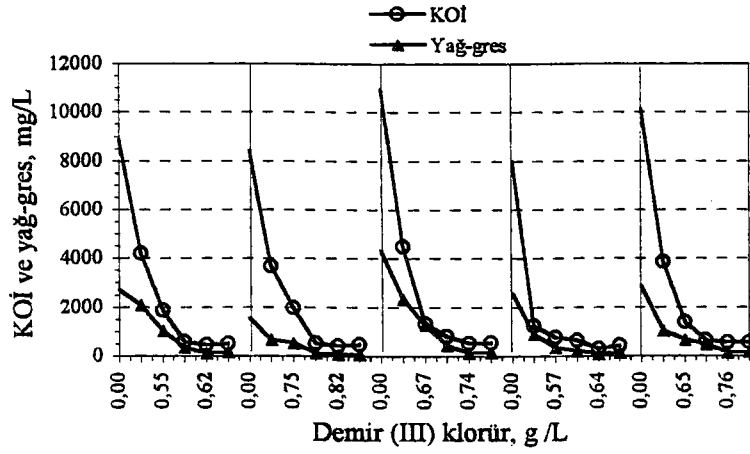
Alum, g/L	0.00	0.70	0.75	0.78	0.80	0.82
pH	6.18	4.92	4.60	4.42	4.24	4.02
KOİ, mg/L	8850	2760	1540	880	620	660
Yağ-gres, mg/L	2710	980	610	360	216	248
TKM, mg/L	5860	3290	1840	910	580	790
AKM, mg/L	3680	1040	940	264	220	238
Alum g/L	0.00	1.10	1.15	1.20	1.22	1.24
pH	8.89	4.86	4.71	4.48	4.39	4.22
KOİ, mg/L	8300	2540	1820	910	590	640
Yağ-gres, mg/L	1540	1056	884	336	258	298
TKM, mg/L	6800	2240	1956	1382	990	1268
AKM, mg/L	4940	1500	1056	640	374	446
Alum g/L	0.00	1.20	1.25	1.28	1.30	1.34
pH	7.85	4.86	4.71	4.58	4.49	4.22
KOİ, mg/L	10960	5920	2740	1610	1090	1530
Yağ-gres, mg/L	4320	1856	1492	806	380	422
TKM, mg/L	7280	3040	2836	1482	986	1048
AKM, mg/L	3660	1900	1524	540	484	556
Alum g/L	0.00	0.75	0.82	0.90	0.92	0.97
pH	6.98	4.86	4.71	4.58	4.49	4.22
KOİ, mg/L	8000	2960	1420	1060	840	930
Yağ-gres, mg/L	2610	1320	1284	472	206	368
TKM, mg/L	6320	1840	1326	812	694	808
AKM, mg/L	2820	1504	1198	380	254	276
Alum g/L	0.00	1.30	1.35	1.36	1.38	1.40
pH	7.98	4.42	4.14	4.01	3.97	3.92
KOİ, mg/L	10120	4900	2520	1780	1200	1360
Yağ-gres, mg/L	2850	1859	1584	936	858	990
TKM, mg/L	7640	3010	1830	1240	890	920
AKM, mg/L	4820	1756	1430	974	520	558



Şekil 3.7. Alum Miktarına Bağlı Olarak KOİ ve Yağ-Gres Giderme Verimleri.

Tablo 3.16. Atıksu Örneklerinde Demir (III) Klorür ile Yapılan Jar Testi Sonuçları.

Demir (III) klorür, g/L	0.00	0.50	0.55	0.60	0.62	0.64
pH	6.18	6.09	5.82	5.44	4.86	4.82
KOI, mg/L	8850	4180	1860	580	440	500
Yağ-gres, mg/L	2710	2080	1020	345	104	168
TKM, mg/L	5860	1984	1440	864	228	256
AKM, mg/L	3680	1054	820	428	162	186
Demir (III) klorür, g/L	0.00	0.70	0.75	0.80	0.82	0.84
pH	8.89	6.97	5.42	5.06	4.98	4.90
KOI, mg/L	8300	3680	1960	520	440	480
Yağ-gres, mg/L	1540	642	524	132	81	85
TKM, mg/L	6800	3370	1640	1060	780	1020
AKM, mg/L	4940	1524	1142	658	252	556
Demir (III) klorür, g/L	0.00	0.65	0.67	0.72	0.74	0.76
pH	7.85	5.68	5.12	5.00	4.94	4.96
KOI, mg/L	10960	4480	1340	820	530	560
Yağ-gres, mg/L	4320	2340	1285	452	126	148
TKM, mg/L	7280	3420	2210	920	660	760
AKM, mg/L	3660	1220	1110	356	145	188
Demir (III) klorür, g/L	0.00	0.45	0.57	0.62	0.64	0.66
pH	6.98	5.28	5.02	4.94	4.82	4.66
KOI, mg/L	8000	1240	760	630	300	420
Yağ-gres, mg/L	2610	880	345	216	90	128
TKM, mg/L	6320	1120	852	432	228	304
AKM, mg/L	2820	552	384	218	114	126
Demir (III) klorür, g/L	0.00	0.50	0.65	0.72	0.76	0.80
pH	7.98	5.46	4.82	4.54	4.48	4.40
KOI, mg/L	10120	3840	1380	620	540	560
Yağ-gres, mg/L	2850	1020	660	476	144	156
TKM, mg/L	7640	1950	1700	840	670	330
AKM, mg/L	4820	1645	1040	478	220	262



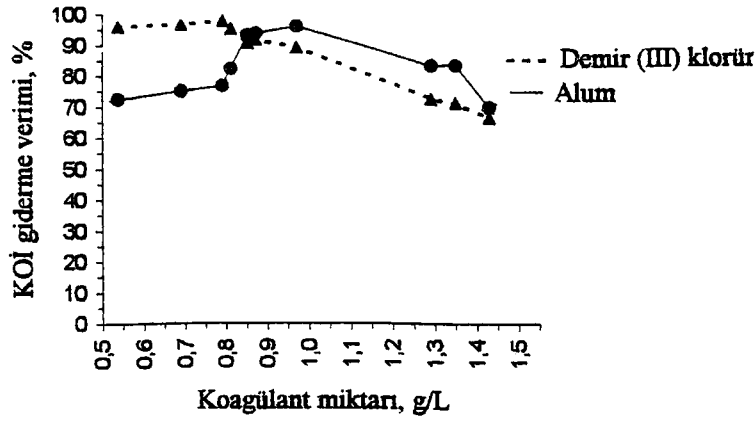
Şekil 3.8. Demir (III) Klorür Miktarına Bağlı Olarak KOİ ve Yağ-Gres Giderme Verimleri.

Alum için optimum atıksu pH'ı 6.00-6.20 arasında, demir (III) klorür için ise 6.80-7.05 değerleri arasında bulunmuştur. Alum kullanımı sonucu çıkış suyunun pH'ı 4.0-4.80, demir (III) klorür için ise 4.48-4.98 arasında değişim göstermektedir.

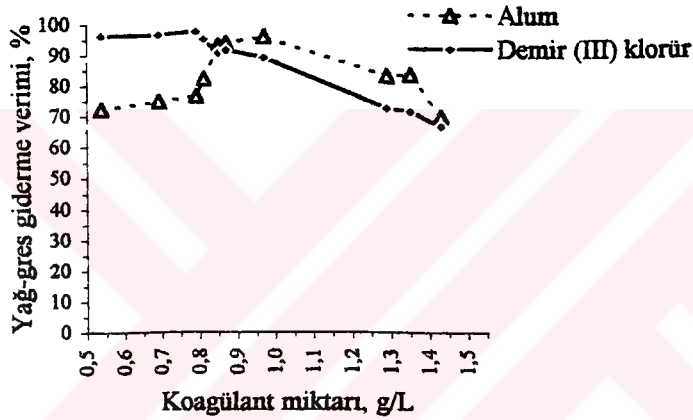
Tablo 3.17' de, aynı atıksuda alum ve demir (III) klorür ile yapılan koagülasyon çalışmalarında arıtma verimleri topluca görülmektedir. Şekil 3.9'da kullanılan alum ve demir (III) klorür miktarları ile KOİ giderimi arasındaki ilişki, Şekil 3.10'da ise kullanılan alum ve demir (III) klorür miktarları ile yağ-gres giderimi arasındaki ilişki belirtilmektedir.

Tablo 3.17. Alum ve Demir (III) Klorür ile Yapılan Koagülasyon Çalışmalarında Arıtlabilirlik Verimleri.

Kullanılan Kogülant		pH		Giderme verimi, %			
Cinsi	Miktarı, g/L	Giriş	Çıkış	KOI	Yağ-gres	TKM	AKM
Alum	0.80	6.18	4.24	92.99	92.03	90.10	94.02
Demir (III) klorür	0.47	6.18	4.86	95.02	96.16	96.11	95.60
Alum	1.24	8.89	4.39	92.89	83.25	85.44	92.43
Demir (III) klorür	0.82	8.89	4.98	94.70	93.81	88.53	94.94
Alum	1.30	7.85	4.49	90.05	91.20	84.46	86.77
Demir (III) klorür	0.74	7.85	4.94	95.16	97.08	90.93	96.03
Alum	0.92	6.98	4.49	89.50	92.11	89.02	90.99
Demir (III) klorür	0.64	6.98	4.82	96.25	96.55	96.39	95.96
Alum	1.38	7.98	3.97	88.14	69.89	88.35	95.43
Demir (III) klorür	0.76	7.98	4.48	94.66	94.95	91.12	89.21



Şekil 3.9. Koagülant Miktarlarına Bağlı Olarak KOİ Giderme Verimleri.



Şekil 3.10. Kullanılan Koagülant Miktarlarına Bağlı Olarak Yağ-Gres Giderme Verimleri.

Her iki koagülantın arıtma verimleri kıyaslandığında demir (III) klorürün daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Arıtımda kullanılan demir (III) klorür, aynı atıksu için harcanan alum miktarından % 55-% 69 daha azdır. Ayrıca KOİ, yağ-gres, TKM ve AKM giderme verimleri göz önüne alındığında demir (III) klorürün bariz bir üstünlüğü görülmektedir.

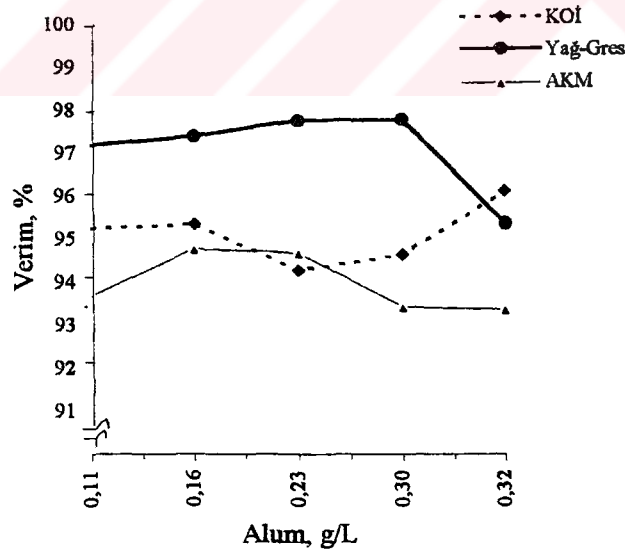
Alum ve demir (III) klorür ile birlikte koagülant yardımcısı olarak Artvin (Yusufeli) bölgesinden alınan ve gips > anortit > montmorillonit > kuvars yapısında olan kil kullanılmıştır. Demir (III) klorür ile birlikte kil kullanımı neticesinde giderme veriminde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Ancak, alum ve kil kullanımı sonucunda yüksek düzeyde verim elde edilmiştir.

Farklı alum miktarlarına karşılık 5'er gramlık Artvin (Yusufeli) kilinin kullanımı ile yapılan Jar Test sonuçları Tablo 3.18'de verilmiştir. Bu şartlarda sarf edilen alum miktarları ile giderme verimleri arasındaki ilişki ise Şekil 3.11'de görülmektedir.

Elde edilen verilere göre kil kullanımı ile hem kullanılan alum miktarları azalmakta hem de arıtma verimi % 93-97 düzeyine yükselmektedir. Ancak alum-kil kullanımı ile koagülasyonda, çamur çökeltme süresinin 2 saate çıkması, demir (III) klorür ve alum kullanımına göre oluşan çamur miktarının % 52-66 daha fazla olması gibi dezavantajlar bulunmaktadır.

Tablo 3.18. Alum ve 5 g Kil Kullanımı ile Yapılan Jar Testi Sonuçları.

Parametre		KOİ, mg/L		Verim, %	Yağ-Gres mg/L		Verim, %	AKM, mg/L		Verim, %
Alum, g	Kil, g	Giriş	Çıkış	%	Giriş	Çıkış	%	Giriş	Çıkış	%
0.16	5.00	8850	410	95.37	2710	65	97.60	2680	140	94.78
0.32	5.00	8300	440	94.69	1540	48	96.88	2840	188	93.38
0.23	5.00	10960	550	94.98	4320	96	97.78	3660	194	94.69
0.11	5.00	8000	380	95.25	2610	74	97.16	2820	178	93.68
0.30	5.00	10120	540	94.66	2640	58	97.96	4820	316	93.44



Şekil 3.11. Alum ile Birlikte 5 g/L Kil Kullanımı Sonucu Elde Edilen Giderme Verimleri.

3.2.5. Çözünmüş hava flotasyonu (CHF)-aktif çamur (AÇ) sistemi

Çalışmaların bu bölümündeki AÇ sistemi ile yapılan arıtılabilirlik çalışmalarında, yağ kapanı çıkışından alınan ve CHF işleminden geçirilmiş olan alınan atıksular kullanılmıştır. Kullanılan aşı çamuru Elazığ Belediyesi Evsel Atıksu Arıtma Tesisleri'ndeki bir havalandırma havuzundan sağlanmıştır. Havalandırma havuzuna 22 L aşı çamuru ve 11 L atıksu konularak toplam hacim 33 litreye tamamlanmıştır.

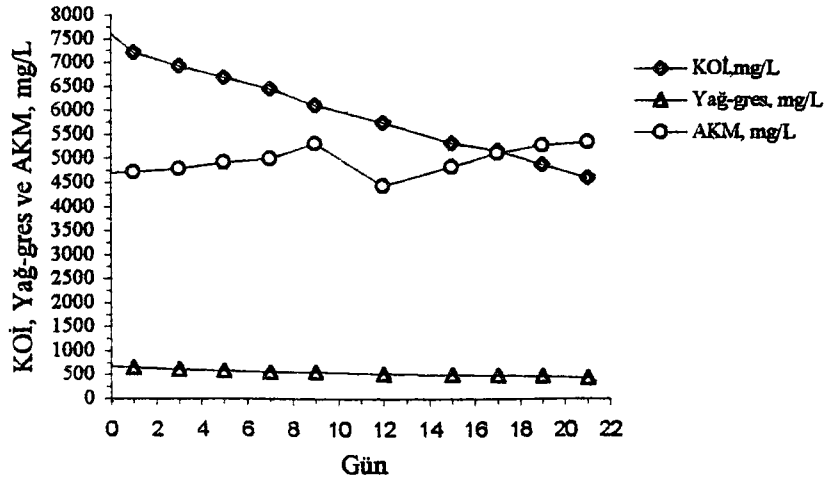
Sistem ilk etapta yarı kesikli olarak çalıştırılmıştır. Havalandırma havuzunda AKM konsantrasyonu 4700 mg/L olarak tespit edilmiştir. Ham atıksuda KOİ/N/P oranları 300/4.8/0.92 olacak şekilde besin maddesi (üre) ilavesi ile ayarlanmıştır. Reaktör 16.5 L/gün'lük debi ile beslenmiş ve HBS yaklaşık 2 gün olacak şekilde sabit tutulmuştur. Havalandırma havuzunda çözünmüş oksijen konsantrasyonu 3.0 mg/L olarak sabit seviyede ayarlanmıştır.

Sistemin beslenmesi her gün aynı zamanda durdurularak, çamurun reaktör tabanına 30 dakika süre ile çökmesi sağlandıktan sonra üst fazdan 1 litre numune alınmış ve alınan numune yerine atıksu ilave edilmiştir. AÇ sisteminde 21 gün süre ile gerçekleştirilen yarı kesikli arıtılabilirlik çalışmalarının sonuçları Tablo 3.19'da verilmiştir.

Reaktör ilk 9 günlük periyotta, KOİ konsantrasyonu 7600 mg/L, 10. günden itibaren ise 6460 mg/L olan atıksular ile beslenmiştir. CHF çıkış suları ile yapılan pilot ölçekli AÇ arıtılabilirlik çalışmalarında 21. günde ancak % 39.34 KOİ ve 35.67 yağ-gres giderimi elde edilmiştir (Şekil 3.12).

Tablo 3.19. CHF - Yarı Kesikli Beslemeli AÇ Sistemi ile Yapılan Arıtılabilirlik Çalışmaları.

Gün	Sıcaklık, °C	pH	KOİ, mg/L	Yağ-gres, mg/L	AKM, mg/L
-	14.7	7.60	7600	684	4700
1	15.0	7.24	7220	646	4720
3	14.5	7.08	6940	610	4790
5	16.2	7.11	6700	582	4920
7	16.0	7.04	6460	564	5010
9	17.5	7.22	6120	556	5320
12	17.8	7.62	5760	520	4440
15	17.4	7.44	5340	506	4850
17	17.0	7.34	5180	498	5120
19	17.6	7.20	4880	484	5280
21	17.8	7.20	4610	440	5350



Şekil 3.12. Deneme Periyodu Boyunca Yarı Kesikli AÇ Sistemi ile Arıtılabilirlik Çalışmasında KOİ, Yağ -Gres ve AKM konsantrasyonundaki Değişim.

Oluşan şişkin çamur, çamurun çökeltme karakteristiklerini bozmaktadır. Ayrıca arıtma verimi düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Bu nedenlerle atıksuların CHF'nu takiben AÇ sistemiyle arıtılabilirliği mümkün görülmemiştir ve çalışma devam ettirilmemiştir.

3.2.6. Yukarı akışlı havasız çamur yatağı (YAHÇY)

YAHÇY ile yapılan arıtılabilirlik çalışmaları, alıştırma ve işletme periyodu olarak iki safhada gerçekleştirilmiştir. Alıştırma periyodunda yüksek verim alınması için gereken şartlar sağlandıktan sonra işletme periyoduna geçilmiştir. İşletme periyodunda, önce seyreltilmiş atıksular kullanılmıştır. Daha sonra organik yük tedricen artırılmıştır. Bu safhada ilk önce serbest yüzebilen yağlardan arındırılmış ve buna ilave olarak CHF ile arıtma tabi tutulmuş atıksular kullanılmıştır. Bu atıksular farklı organik yüklerde sisteme verilmek suretiyle arıtılabilirlik çalışmaları yapılmıştır. Sistem veriminin % 80'i aşması üzerine serbest yüzebilen yağları alınmış atıksular ile arıtılabilirlik çalışmalarına devam edilmiştir. Bu periyotta da organik yüklerde ve farklı yağ-gres konsantrasyonlarına sahip atıksular ile arıtılabilirlik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise YAHÇY'nın ön arıtım amacıyla kullanılabilirliğinin araştırılması için, atıksu örnekleri hiçbir işleme tabi tutulmadan kullanılmıştır. Bu aşamada atıksu örneklerinde ve farklı organik yüklerdeki arıtma verimleri incelenmiştir.

3.2.6.1. Aşırtma devresi

Yukarı akışlı anaerobik reaktörün aşırtma devresinde aşılama, İstanbul'da kurulu bulunan Pak Maya Fabrikası'ndaki atıksu arıtma tesisindeki anaerobik reaktörün üst fazından (süpernetan) alınan aşı ile yapılmıştır. Alınan aşı, 0.8 cm çaplı elekten geçirilerek reaktör hacminin % 30 una karşılık gelecek şekilde (11 L) reaktöre doldurulduktan sonra, artan hacim (22 L), % 50 oranında seyreltilmiş fabrikadaki yağ kapanı çıkışından alınan ham atıksu ile tamamlanmıştır.

Ayrıca, sistemdeki kayıpları ve alınan numunelerdeki azalmayı karşılamak için aynı atıksudan 15 L hazırlanarak, besleme tankına konmuştur. Reaktördeki başlangıç KOİ/N/P oranı (kjeldahl azotu ve toplam fosfor olarak) 100/2.98/1.77, KOİ/yağ-gres oranı 23.46 ve KOİ/SO₄ oranı 46.92 olarak tespit edilmiştir. Toplam katı madde konsantrasyonu ise 4940 mg/L olarak tayin edilmiştir.

Aşırtma devresinin başlangıcında reaktör pH'ı 7.12 olarak belirlenmiştir. Başlama periyodunda toplam alkalinite 1200 mg/L CaCO₃ olarak tayin edilmiştir. Sistem, mezofilik şartlarda arıtma maruz bırakılmış ve ortam sıcaklığı 37±1 °C arasında tutulmuştur. Kullanılan aşı çamuru, seyreltilmiş atıksu numunesi ve aşı çamuru-atıksu karışımının karakteristikleri Tablo 3.20'de görülmektedir.

Metan bakterilerinin kaçışının önlenmesi için ilk aşamada HBS 20 gün olacak şekilde tutulmuş ve ilerleyen günlerde tedricen azaltılmıştır. Sistem kararlı hale gelinceye kadar kapalı devre çalıştırılmıştır. Böylece aşı çamurundaki mikroorganizmaların sistemde daha fazla kalma şansları artırılmıştır.

Tablo 3.20 Aşı Çamuru ve Seyreltilmiş Numune ile Atıksu Karışımının Karakteristikleri

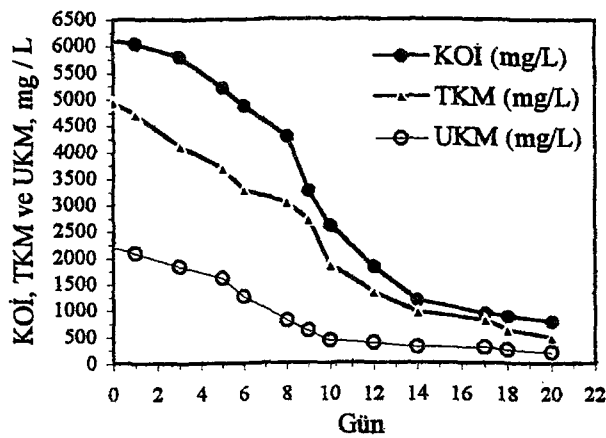
Parametre	Aşı çamuru	Seyreltilmiş atıksu	Karışım
pH	7.56	7.00	7.12
KOİ (mg/L)	4500	6800	6100
Yağ-gres (mg/L)	25	380	260
T. Alkalinite (mg/L)	900	1400	1220
TKM (mg/L)	3200	5840	4940
UKM (mg/L)	2800	1920	2200
AKM (mg/L)	2410	4850	4040
T. Kj. Azotu (mg/L)	418	64	182
T. Fosfor (mg/L)	12	156	108
Sülfat (mg/L)	30	180	130

Alıştırma devresi boyunca, reaktör içindeki çamurdan periyodik olarak alınan numunelerde TKM ve UKM tayinleri yapılmıştır. Aynı zamanda sistemin KOİ, yağ-gres ile sülfat giderme verimleri incelenmiştir. Reaktördeki çamurun pH değeri ve alkalinite konsantrasyonu günlük olarak ölçülmüştür. Alıştırma devresinin 8. ve 17. günlerinde pH, 6.45-6.52 değerine düşmüş ancak sisteme sodyum hidroksit ilavesiyle pH dengelenmiştir.

Alıştırma devresi boyunca YAHÇY'ndan alınan numunelerde yapılan analiz sonuçları Tablo 3.21'de verilmiştir. Bu devredeki KOİ, TKM ve AKM giderimleri ise Şekil 3.13'de görülmektedir.

Tablo 3.21. YAHÇY'da Alıştırma Devresi Boyunca Çeşitli Parametrelerin Giderimi.

Gün	pH	KOİ (mg/L)	Yağ-gres (mg/L)	TKM (mg/L)	UKM (mg/L)
1	7.08	6040	210	4710	2080
3	6.90	5800	204	4120	1840
5	6.82	5210	168	3690	1610
6	6.69	4860	135	3280	1260
8	6.53	4280	122	3040	800
9	7.16	3260	106	2710	610
10	6.91	2600	92	1850	420
12	6.86	1820	84	1340	380
14	6.72	1090	66	1080	300
17	6.45	930	52	810	290
18	7.02	880	40	630	260
20	7.06	790	34	490	210



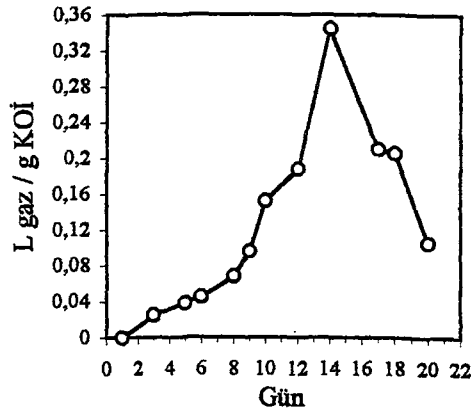
Şekil 3.13. Alıştırma Devresi Boyunca KOİ, TKM ve UKM Giderimi.

Tablo 3.22. Alıştırma Devresinde KOİ Giderimi ve Oluşan Toplam Gaz Hacmi.

Gün	pH	KOİ, mg/L	Toplam gaz hacmi, L	L gaz / g KOİ
1	7.08	6040	-	-
3	6.90	5800	0.198	0.025
5	6.82	5210	0.750	0.038
6	6.69	4860	0.520	0.045
8	6.53	4280	0.900	0.068
9	7.16	3260	1.455	0.096
10	6.91	2600	3.300	0.152
12	6.86	1820	4.840	0.188
14	6.72	1090	8.285	0.344
17	6.45	930	1.110	0.210
18	7.02	880	0.340	0.206
20	7.06	790	0.315	0.106

Alıştırma devresinde oluşan toplam gazın günlere göre dağılımı, Tablo 3.22 ve Şekil 3.14'te görülmektedir. Alıştırma devresinin 10.-12. günlerinde KOİ giderme verimi % 66-72 olarak gerçekleşirken, 20 günlük periyodun sonunda, % 88.0 KOİ, % 86.9 yağ-gres, % 89.6 TKM ve % 89.9 UKM giderme verimine ulaşılmıştır. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi 14. günde günlük oluşan toplam gaz en yüksek düzeye çıkmış ve ilerleyen günlerde azalmıştır. Bu durum reaktördeki KOİ'nin azalmasına atfedilebilir.

18. günde oluşan günlük toplam gazın 0.340 L'ye, KOİ'nin gaza dönüşüm oranının ise 0.206 g KOİ/ L'ye yükselmesi üzerine 20. günden itibaren reaktör işletmeye alınmıştır.



Şekil 3.14. Alıştırma Devresinde Günlere Göre Oluşan Toplam Gaz Miktarı.

3.2.6.2. İşletmeye alma

Yağ kapanı ve CHF'na tabi tutulmuş, düşük yağ-gres konsantrasyonuna sahip ve azotlu besin maddeleri ile takviye edilmiş olan atıksular kullanılarak, YAHÇY 1.62 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında işletmeye alınmıştır. İşletmeye alma aşamasında organik yükün düşük düzeyde tutulmasına özen gösterilmiştir. Bu safhada HBS 2.6 gün olarak belirlenmiştir.

HBS'nin 2.6 gün ve 1.62 kg KOİ/m³.gün organik yük altında KOİ ve yağ-gres giderimi sırası ile % 85.71 ve % 82.55 olarak gerçekleştiği için organik yükün 2.1 kg KOİ/m³.gün değerine yükselmesi sağlanmıştır. Bu durumda da arıtma etkinliğinde önemli bir azalma görülmemiştir.

Deneyin son aşamasında ise organik yükün 3.15 kg KOİ/m³.güne kadar çıkartıldığı durumda ise % 78.1 KOİ ve % 76.17 yağ-gres giderimi sağlanmıştır. Serbest yüzebilen ve emülsüfiye haldeki yağları alınmış atıksularla yapılan çalışma sonuçları Tablo 3.23'de ve 1.62 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükteki yağ asitleri giderimi Tablo 3.24'de verilmiştir.

YAHÇY girişi ve çıkışından alınan numunelerde gaz kromatografisi ile yapılan analizlere göre, elde edilen toplam gazın %79-83'ü metan ve % 17-21'i karbondioksitten ibarettir. Çalışmalarda sistemde giderilen KOİ başına oluşan toplam gaz hacmi, metan ve karbondioksit miktarları tespit edilmiştir.

Sistemin işletmeye alınması esnasında elde edilen ilk verilere göre, organik yükün artışına bağlı olarak arıtma verimi ve buna bağlı olarak gaz oluşum hızı azalmaktadır. 1.62 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte KOİ'nin metana dönüşüm oranı 0.29 L CH₄ / g KOİ iken, organik yükün 3.15 kg KOİ/m³.gün olduğu durumda bu oran 0.26 L CH₄ / g KOİ'ye düşmektedir.

YAHÇY giriş ve çıkış sularında yapılan toplam lipit ve yağ asitlerinin kromatografik analizlerinden elde edilen sonuçlarda en fazla linoleik ve oleik asitlere rastlanmıştır. Bunları sırası ile palmitik, miristik, araşhidik asitler ve ender olarak behenik asitler takip etmektedir. 1.62 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında % 88.03 toplam yağ asitleri giderimi ve % 84.81 oranında toplam lipit giderimi gerçekleşmektedir (Tablo 3.24).

Tablo 3.23. CHF'ndan Geçirilmiş Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (1.62, 2.1 ve 3.15 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

HBS, gün		2.6		2.0		0.75	
Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün		1.62		2.1		3.15	
Parametre	Giriş	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver. %
pH	7.40	6.99	-	7.26	-	7.32	-
KOİ, mg/L	4200	600	85.71	760	81.90	920	78.10
Yağ-gres, mg/L	596	104	82.55	98	83.56	142	76.17
T. Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1300	960	26.15	800	38.46	980	24.62
TKM, mg/L	4820	920	80.91	1010	79.05	1450	69.91
AKM, mg/L	3960	440	88.89	620	84.34	1190	69.99
UKM, mg/L	4040	610	84.90	870	78.46	980	75.74
T. Fosfor, mg/L	112	90.25	19.42	106.50	4.91	-	-
T.Kj. Azotu, mg/L	214	196	8.41	172	19.63	-	-
Sülfat, mg/L	398	246	38.19	186	53.26	262	34.17
KOİ/N/P Oranı	100 / 5.09 / 2.67						
Toplam gaz hacmi, L		41.50		34.0		33.60	
CH ₄ , L		34.50		28.50		28.00	
CO ₂ , L		7.00		5.50		5.60	
L Top. Gaz/ g KOİ		0.35		0.29		0.31	
L CH ₄ / g KOİ		0.29		0.25		0.26	

Tablo 3.24. 1.62 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Yağ asitleri	Giriş, mg/L	%	Çıkış, mg/L	%	Verim, %
Miristik asit (14:0)	11.55	4.88	-	-	100.00
Palmitik asit (16:0)	21.71	9.17	3.10	9.01	85.72
Stearik asit (18:0)	11.76	4.96	2.94	8.54	75.00
Oleik asit (18:1)	84.82	35.79	12.11	35.19	85.72
Linoleik asit (18:2)	93.30	39.36	13.70	39.82	85.31
Dedekte edilemeyen	13.82	5.84	2.56	7.44	-
Toplam yağ asidi	237.00	100.00	34.41	100.00	85.48
Toplam lipit	382.00	-	58.00	-	84.81

Yağ kapanı çıkışından alınmış ve CHF'ndan geçirilmiş olan atıksular ile yapılan havasız arıtılabilirlik çalışmalarının ikinci aşamasında arıtma etkinliğini tam olarak saptamak için, organik yük periyodik olarak artırılmıştır.

Reaktör ilk etapta 2.8 kg KOİ/m³.gün'lük organik yüke maruz bırakılmış daha sonra sistem performansının şok yüklemelere karşı direncini belirlemek amacıyla, sisteme sırası ile 5.6 ve 7.47 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükleme uygulanmıştır. Bu atıksularla yapılan arıtılabilirlik çalışmalarının sonuçları Tablo 3.25'te ve 2.80 kg KOİ/m³.gün'lük organik yüke yağ asitleri giderimi Tablo 3.26'da verilmiştir.

Tablo 3.25. ÇHF'ndan Geçirilmiş Atıksuların, YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (2.8, 5.6 ve 7.47 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

HBS, gün		0.75		1		2	
Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün		7.47		5.6		2.8	
Parametre	Giriş	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver.%
pH	7.46	6.92	-	6.84	-	7.21	-
KOİ, mg/L	5600	2000	64.43	1200	78.57	710	87.32
Yağ-gres, mg/L	542	186	65.68	130	75.92	60	88.93
T. Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1480	1240	16.22	710	52.03	1110	25.00
TKM, mg/L	7860	1320	83.21	1960	75.06	980	87.53
AKM, mg/L	3620	650	82.04	320	91.16	290	91.99
UKM, mg/L	2120	900	57.55	590	72.17	460	78.30
T. Fosfor, mg/L	158	127	19.62	125	20.89	141	10.76
T.Kj. Azotu, mg/L	273	240	12.09	186	31.86	247	9.52
Sülfat, mg/L	756	206	72.75	248.5	67.12	516	31.74
KOİ/N/P Oranı	100 / 4.88 / 2.82						
Toplam gaz hacmi, L		40.5		42.0		47.4	
CH ₄ , L		32.4		33.6		37.9	
CO ₂ , L		8.1		8.4		9.5	
L Top. gaz/ g KOİ		0.34		0.29		0.29	
L CH ₄ / g KOİ		0.27		0.23		0.24	

Tablo 3.26. 2.80 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Yağ asitleri	Giriş, mg/L	%	Çıkış, mg/L	%	Verim, %
Miristik asit (14:0)	0.37	0.14	0.09	0.18	75.68
Palmitik asit (16:0)	2.28	0.87	0.08	0.16	96.49
Stearik asit (18:0)	7.36	2.80	2.37	4.87	67.79
Oleik asit (18:1)	71.21	27.11	11.58	23.76	83.74
Linoleik asit (18:2)	106.66	40.61	24.67	50.63	76.87
Arasidik asit (20:0)	42.82	16.30	7.93	16.27	81.48
Behenik asit (22:0)	26.65	10.15	0.96	1.97	96.39
Dedekte edilemeyen	5.32	2.02	1.05	2.16	-
Toplam yağ asidi	262.67	100.00	48.73	100.00	81.44
Toplam lipit	346.40	-	65.60	-	81.06

Analiz sonuçlarına göre 2.80 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında sistemde % 87.32 oranında KOİ ve % 88.93 oranında yağ-gres verimi gerçekleşirken, organik yükün 7.47 kg KOİ/m³.gün değerine yükseltilmesi ile arıtma verimleri KOİ ve yağ-gres için sırası ile % 64.43 ve % 65.68 oranına inmiştir. Aynı zamanda 2.80 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında giderilen KOİ'nin metana dönüşüm oranı 0.24 L

CH_4 / g KOİ iken, organik yükün $7.47 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ olduğu durumda bu oran 0.27 L CH_4 / g KOİ değerine yükselmiştir.

Arıtma veriminin en yüksek olduğu $2.80 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ 'lük organik yükte %81.45 düzeyinde toplam yağ asitleri giderimi sağlanmaktadır. Giderilen toplam lipid miktarı ise % 81.06 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.25 incelendiğinde sistem veriminin gittikçe arttığı görülmektedir. Bu nedenle yağ kapamı çıkışından alınmış ve CHF sisteminden geçirilmiş atıksular ile yapılan havasız arıtılabilirlik çalışmalarının son aşamasında organik yük $16 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ 'e kadar artırılmıştır.

Reaktör ilk etapta $4 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ 'lük organik yüke maruz bırakılmış daha sonra, sisteme sırası ile 8 ve $16 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ 'lük organik yükleme uygulanmıştır. $16 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ 'lük organik yüklemede reaktör pH'ı düştüğünden, reaktöre sodyum hidroksit ilave edilerek sistem pH'ı yükseltilmiştir.

Bu atıksular ile beslenen YAHÇY'ndaki arıtılabilirlik çalışmalarının sonuçları Tablo 3.27'de ve $4 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$ 'lük organik yükteki toplam lipid ve toplam yağ asitlerinin giderimi Tablo 3.28'de görülmektedir.

Tablo 3.27. CHF'ndan Geçirilmiş Atıksuların YAHÇY'nda Organik Yüklerdeki (4, 8 ve $16 \text{ kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$) Arıtma Verimleri.

HBS, gün		1		0.50		0.25	
Organik yük, $\text{kg KOİ/m}^3 \cdot \text{gün}$		4		8		16	
Parametre	Giriş	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver. %
pH	6.86	6.98	-	6.79	-	6.12	-
KOİ, mg/L	4000	800	80.00	990	75.25	1630	59.25
Yağ-gres, mg/L	500	98	80.40	103	79.40	228	54.40
T. Alkalinite, mg/L CaCO_3	890	720	19.10	690	22.47	840	5.62
TKM, mg/L	4920	1010	79.47	1470	70.12	1680	65.85
AKM, mg/L	2110	460	78.20	550	73.93	840	60.19
UKM, mg/L	1960	300	84.86	490	75.00	820	58.16
T. Fosfor, mg/L	102.6	92.4	9.94	96.4	6.04	84.6	17.54
T.Kj. Azotu, mg/L	188.4	168	10.82	159	15.61	172	8.70
Sülfat, mg/L	222	119	46.39	104	53.51	97.5	56.08
KOİ/N/P Oranı	100 / 4.71 / 2.56						
Toplam gaz hacmi, L		46.2		40.6		34.4	
CH_4 , L		37.9		33.3		28.2	
CO_2 , L		8.3		7.3		6.2	
L Top. gaz/ g KOİ		0.43		0.40		0.38	
L CH_4 / g KOİ		0.36		0.34		0.32	

Tablo 3.28. 4 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi

Yağ asitleri	Giriş, mg/L	%	Çıkış, mg/L	%	Verim, %
Miristik asit (14:0)	2.99	0.73	0.74	1.10	75.25
Palmitik asit (16:0)	17.05	4.15	4.05	6.04	76.25
Stearik asit (18:0)	14.71	3.59	5.28	7.86	64.10
Oleik asit (18:1)	84.82	20.67	14.24	21.20	83.21
Linoleik asit (18:2)	213.30	51.97	36.67	54.60	82.81
Araşhidik asit (20:0)	73.82	17.99	3.32	4.94	95.50
Dedekte edilemeyen	3.69	0.90	2.86	4.26	-
Toplam yağ asidi	410.38	100.00	67.16	100.00	83.63
Toplam lipit	468.22	-	86.44	-	81.38

Sonuçlar bakımından 4 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında % 80 KOİ ve % 80.4 oranlarında yağ-gres giderme verimleri sağlanmaktadır. Organik yükün 16 kg KOİ/m³.gün gibi oldukça yüksek bir değerde tutulması ile arıtma verimleri KOİ ve yağ-gres için sırası ile % 59.25 ve % 54.40 gibi düşük düzeyde seyretmektedir. Sistemde 4 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte KOİ'nin metana dönüşüm oranı 0.36 L CH₄/ g KOİ iken, organik yükün 8 kg KOİ /m³.gün olduğu durumda bu oran 0.34 L CH₄/ g KOİ değerine düşmüştür. 4 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte toplam yağ asitleri giderimi % 83.63, toplam lipit giderimi ise % 81.38 düzeyinde gerçekleşmiştir.

HBS'nin 1 gün olması durumunda 4000 mg/L KOİ içeren atıksuların % 80 düzeyinde arıtılabileceği ve bu arıtım sonucunda harcanan KOİ'nin metana dönüşüm oranının 0.36 L CH₄/ g KOİ değerine yükseldiği görülmüştür.

Buraya kadar yapılan çalışmalar, yağ fabrikası atıksularının yağ kapanından geçirildikten sonra CHF'na verilmesinin ardından YAHÇY'da arıtılması ile yüksek verimlerin alındığını ortaya koymaktadır.

CHF uygulanmadan, sadece yağ kapalı çıkışından alınan atıksuların YAHÇY'ndaki arıtılabilirliğini belirlemek amacıyla, bir dizi ek arıtılabilirlik çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla YAHÇY, ilk etapta 2.32 kg KOİ/m³.gün'lük organik yüke maruz bırakılmış daha sonra, sisteme sırası ile 2.9 ve 4.8 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükleme uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 3.29'da verilmiştir. En fazla verimin alındığı 2.50 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte toplam lipit ve yağ asitlerinin giderimi Tablo 3.30'da görülmektedir.

Tablo 3.29. Yağ Kapanı ile Yüzebilen Yağları Alınmış Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (2.32, 2.9 ve 4.8 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

HBS, gün		2.5		2.0		1.2	
Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün		2.32		2.9		4.8	
Parametre	Giriş	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver.%	Çıkış	Ver. %
pH	7.38	7.06	-	6.66	-	6.22	-
KOİ, mg/L	5800	720	87.59	1040	82.06	1610	71.72
Yağ-gres, mg/L	974	142	85.42	207	78.74	262	72.13
T. Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1220	465	61.88	720	40.98	980	19.62
TKM, mg/L	2780	430	84.53	540	80.58	840	69.78
AKM, mg/L	1840	380	79.35	440	77.00	550	70.11
UKM, mg/L	2090	260	87.56	300	85.64	660	68.42
T. Fosfor, mg/L	67.82	56.14	17.22	62.46	7.90	65.02	4.13
T.Kj. Azotu, mg/L	80.00	73.00	8.75	72.60	8.85	75.60	5.50
Sülfat, mg/L	662	352	46.83	315.40	52.35	311.80	52.90
KOİ/N/P Oranı	100 / 1.3 / 1.17						
Toplam gaz hacmi, L		56.0		52.5		40.5	
CH ₄ , L		45.9		42.8		32.8	
CO ₂ , L		10.1		9.7		7.7	
L Top. gaz/ g KOİ		0.33		0.33		0.29	
L CH ₄ / g KOİ		0.27		0.26		0.25	

Tablo 3.30. 2.32 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Yağ asitleri	Giriş, mg/L	%	Çıkış, mg/L	%	Verim, %
Miristik asit (14:0)	1.50	0.23	0.26	0.63	82.67
Palmitik asit (16:0)	35.61	5.51	4.72	11.51	86.75
Stearik asit (18:0)	32.00	4.95	2.03	4.95	93.66
Oleik asit (18:1)	230.32	35.61	12.24	29.86	94.69
Linoleik asit (18:2)	333.30	51.54	18.46	45.03	94.46
Araşhidik asit (20:0)	6.60	1.02	-	-	100.00
Dedekte edilemeyen	7.36	1.14	3.29	8.02	-
Toplam yağ asidi	646.69	100.00	41.00	100.00	93.66
Toplam lipit	682.98	-	63.26	-	90.73

Elde edilen bulgulara göre 2.32 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında sistemde % 87.59 oranında KOİ ve % 85.42 oranında yağ-gres verimi gerçekleşmiştir. Organik yükün 4.8 kg KOİ/m³.gün' e çıkartılması ile arıtma verimleri KOİ ve yağ-gres için sırası ile % 71.72 ve % 72.13'e düşmektedir. KOİ'nin metana dönüşüm oranının düşük düzeyde olması aşırı sülfat konsantrasyonundan kaynaklanmaktadır.

Sistemde 2.32 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte KOİ'nin metana dönüşüm oranı 0.27 L CH₄ / g KOİ iken, organik yükün 4.8 kg KOİ/m³.gün olduğu durumda ise

bu oran 0.25 L CH₄ / g KOİ'ye indirgenmektedir. 2.32 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte toplam yağ asitleri giderime verimi % 93.66 ve toplam lipit giderme verimi % 90.73 düzeyinde sağlanmıştır.

Arıtma verimlerinin % 90 düzeylerine yükselmesi üzerine organik yük 9.46 kg KOİ/m³.gün'e kadar yükseltilmiştir. Yüksek miktarlarda yağ-gres ve KOİ içeren atıksular ile yapılan bu çalışmaların sonuçları Tablo 3.31'de ve en yüksek verimin alınmış olduğu 4.3 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükteki toplam lipit ve yağ asitleri giderime verimleri ise Tablo 3.32'de belirtilmektedir.

Tablo 3.31. Yağ kapamı Çıkışından Alınan Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (4.3, 6.31 ve 9.46 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

HBS. gün	2.20			1.5		1.0	
Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün	4.3			6.31		9.46	
Parametre	Giriş	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver.%	Çıkış	Ver.%
pH	7.25	7.13	-	7.06	-	6.55	
KOİ, mg/L	9460	1340	85.84	1620	82.87	2800	70.40
Yağ-gres, mg/L	4320	540	87.50	565	86.92	1045	75.81
T. Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1340	880	19.40	970	27.61	680	49.25
TKM, mg/L	7280	1460	79.95	1600	78.02	2040	71.97
AKM, mg/L	3660	480	86.88	640	82.51	910	75.51
UKM, mg/L	6180	1000	83.81	1230	80.10	1620	73.78
T. Fosfor, mg/L	186.5	121.5	34.85	136	27.08	162.5	12.86
T.Kj. Azotu, mg/L	497	424	14.69	462	7.04	474	4.85
Sülfat, mg/L	345	216	37.39	203	41.16	85	75.36
KOİ/N/P Oranı	100 / 5.25 / 1.97						
Toplam gaz hacmi, L	104.6			92.4		85.2	
CH ₄ , L	85.7			75.3		70.3	
CO ₂ , L	18.9			17.1		14.9	
L Top. gaz/ g KOİ	0.39			0.36		0.31	
L CH ₄ / g KOİ	0.32			0.29		0.25	

Tablo 3.32. 4.3 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Yağ asitleri	Giriş, mg/L	%	Çıkış, mg/L	%	Verim,%
Miristik asit (14:0)	3.73	0.33	0.75	1.43	79.89
Palmitik asit (16:0)	79.85	7.16	2.15	4.09	97.30
Stearik asit (18:0)	91.15	8.17	2.94	5.60	96.77
Oleik asit (18:1)	324.24	29.06	16.06	30.57	95.05
Linoleik asit (18:2)	596.65	53.48	28.78	54.77	95.18
Araşhidik asit (20:0)	4.62	0.41	-	-	100.00
Dedekte edilemeyen	15.49	1.39	1.86	3.54	-
Toplam yağ asidi	1115.73	100.00	52.54	100.00	95.29
Toplam lipit	1696.00	-	98.66	-	94.41

Tablo 3.31'den görüldüğü gibi 4.3 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında sistemde % 85.84 oranında KOİ ve % 87.50 oranında yağ-gres giderme verimi sağlanmaktadır. Organik yükün 9.46 kg KOİ/m³.gün'e çıkartılması ile arıtma verimleri KOİ ve yağ-gres için sırası ile % 70.40 ve % 75.81 düzeyine inmektedir. Sistemde 4.3 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte KOİ'nin metana dönüşüm oranı 0.32 L CH₄ / g KOİ iken, organik yükün 9.46 kg KOİ/m³.gün olduğu durumda ise 0.25 L CH₄ / g KOİ değerine düşmüştür. 4.3 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte toplam lipid ve yağ asitleri giderime verimi ise sırası ile % 94.41 ve % 95.29 olarak tespit edilmiştir.

Atıksuların yağ-gres konsantrasyonunun artırılması ile, benzer organik yüklerde giderilen KOİ'nin metana dönüşüm oranında belirgin bir düşme tespit edilmiştir. Bu nedenle önceki çalışmalara oranla daha düşük yağ-gres konsantrasyonuna sahip atıksu kullanılarak, YAHÇY'nda üretilen metan miktarının hangi yönde değiştiğini belirlemek amacı ile bir çalışma daha başlatılmıştır. Bu atıksu ile yapılan çalışmaların neticeleri Tablo 3.33'de görülmektedir.

Deney sonuçları bakımından 5.33 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında sistemde % 88.75 KOİ ve % 85.25 yağ-gres verimi gerçekleştirilmektedir.

Tablo 3.33. Yağ kapanı Çıkışından Alınan Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (5.33, 8.00 ve 13.33 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

HBS. gün		0.6		1.0		1.5	
Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün		13.33		8.00		5.33	
Parametre	Giriş	Çıkış	Ver.%	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver.%
pH	7.14	6.88	-	7.08	-	7.26	-
KOİ, mg/L	8000	2880	64.00	1460	81.75	920	88.75
Yağ-gres, mg/L	2610	1075	58.82	450	82.76	385	85.25
T. Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1400	1210	13.57	900	35.71	920	34.28
TKM, mg/L	6320	3000	52.53	1100	82.59	860	86.39
AKM, mg/L	2820	1880	33.33	680	75.89	490	89.71
UKM, mg/L	4760	2940	38.23	810	82.98	550	88.44
T. Fosfor, mg/L	151.5	144.5	4.62	139	8.25	122.6	19.08
T.Kj. Azotu, mg/L	316	284	10.13	262	17.09	264	16.45
Sülfat, mg/L	309	118	61.81	141	54.36	186	39.81
KOİ/N/P Oranı		100 / 3.95 / 1.9					
Toplam gaz hacmi, L		50.6		83.3		96.8	
CH ₄ , L		39.9		66.2		77.4	
CO ₂ , L		10.7		17.1		19.4	
L Top. gaz/ g KOİ		0.30		0.39		0.41	
L CH ₄ / g KOİ		0.23		0.31		0.33	

Organik yükün 13.33 kg KOİ/m³.gün değerinde tutulması ile arıtma verimleri KOİ ve yağ-gres için sırası ile % 64.0 ve % 58.82 gibi düşük düzeyde kalmaktadır. Sistemde 5.33 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte KOİ'nin metana dönüşüm oranı 0.33 L CH₄/ g KOİ iken, organik yükün 8 kg KOİ /m³.gün olduğu durumda bu oran 0.31 L CH₄/ g KOİ değerine, organik yükün 13.33 kg KOİ/m³.gün olduğu durumda ise 0.23 L CH₄/ g KOİ değerine düşmüştür. Bu verilerden de anlaşılabacağı gibi organik yükün artması ile metan üretimi azalmaktadır. Bu çalışmada toplam lipit ve yağ asitleri tayin edilmemiştir.

YAHÇY'nın şok yüklemeler karşısında tepkisini incelemek amacıyla, yağ kaparı çıkışından alınan numuneler ile yapılan arıtılabilirlik çalışmalarında sırası ile 4.80, 7.20 ve 14.40 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükleme uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 3.34'te verilmiştir. En fazla verimin alındığı 7.20 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında yağ asitleri ile lipit giderimi ise Tablo 3.35'te verilmektedir.

Arıtma verimleri bakımından 4.80 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında sistemde % 87.50 KOİ ve % 87.81 yağ-gres giderimi gerçekleşmiştir. Şok yüklemelerde organik yükün 7.40 kg KOİ /m³.gün'e çıkartılması ile KOİ ve yağ-gres giderimi sırası ile %80.55 ve % 82.13 oranına düşmektedir.

Tablo 3.34. Yağ Kapanı Çıkışından Alınan Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (4.80, 7.20 ve 14.40 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

HBS, gün		3		2		1	
Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün		4.80		7.20		14.40	
Parametre	Giriş	Çıkış	Ver. %	Çıkış	Ver.%	Çıkış	Ver. %
pH	6.96	7.09	-	7.26	-	6.55	-
KOİ, mg/L	14400	1800	87.50	2800	80.55	5610	61.41
Yağ-gres, mg/L	1600	195	87.81	286	82.13	565	64.68
T. Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1320	980	25.76	930	29.55	870	34.09
TKM, mg/L	5740	1020	82.23	1660	71.08	2110	63.24
AKM, mg/L	3160	430	86.39	610	80.70	1220	61.39
UKM, mg/L	4400	640	85.45	1010	77.05	1580	64.09
T. Fosfor, mg/L	174	148	14.94	144	17.24	155.6	10.57
T.Kj. Azotu, mg/L	444	403	9.23	417	6.08	422	4.95
Sülfat, mg/L	776	297	61.72	345	55.54	268	65.46
KOİ/N/P Oranı		100 / 3.08 / 1.21					
Toplam gaz hacmi, L		118.0		100.0		86.6	
CH ₄ , L		94.9		77.3		69.3	
CO ₂ , L		23.1		22.7		17.3	
L Top. gaz/ g KOİ		0.28		0.26		0.30	
L CH ₄ / g KOİ		0.21		0.20		0.24	

Tablo 3.35. 7.20 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Yağ asitleri	Giriş, mg/L	%	Çıkış, mg/L	%	Verim, %
Miristik asit (14:0)	5.98	0.71	-	-	100.00
Palmitik asit (16:0)	34.10	4.09	3.10	4.09	90.91
Stearik asit (18:0)	37.42	4.45	11.76	15.51	68.57
Oleik asit (18:1)	269.60	32.08	12.12	15.98	95.50
Linoleik asit (18:2)	326.60	38.85	26.60	35.08	91.86
Araşhidik asit (20:0)	147.64	17.56	17.38	22.91	88.28
Dedekte edilemeyen	19.26	2.29	4.87	6.42	-
Toplam yağ asidi	840.60	100.00	75.83	100.00	90.98
Toplam lipit	993.20	-	89.90	-	90.94

Organik yükün 14.4 kg KOİ/m³.gün değerine çıkması ile KOİ ve yağ-gres giderme verimleri tekrar % 61.41 ve % 64.68 oranında indirgenmektedir. 4.8 kg KOİ/m³.gün'lük organik yükte KOİ'nin metana dönüşüm oranı 0.21 L CH₄ / g KOİ iken, organik yükün 7.4 kg KOİ /m³.gün olduğu durumda bu oran 0.20 L CH₄ / g KOİ değerine düşmüş, organik yükün 14.4 kg KOİ/m³.gün olduğu durumda ise 0.24 L CH₄ / g KOİ değerine yükselmiştir. 7.2 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında toplam yağ asitleri % 90.98, toplam lipit ise % 90.94 oranında giderilmektedir.

Anaerobik artılabilirlik çalışmalarının son aşamasında, YAHÇY'nın bir ön arıtım sistemi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda yürütülen çalışmalarda kullanılan atıksular yağ kapanı girişinden alınmış ve hiç bir işleme tabi tutulmadan yatağa verilmiştir.

KOİ ve yağ-gres konsantrasyonları oldukça yüksek olan atıksular ile yapılan artılabilirlik çalışmalarının sonuçları Tablo 3.36, Tablo 3.38 ve Tablo 3.39'da görülmektedir. Bu çalışmalarda sadece 5.44 kg KOİ / m³.gün'lük organik yükte toplam yağ asitleri ve lipit örnekleri alınarak tayin edilmiştir. Sonuçlar tablo 3.37'de görülmektedir.

Organik yükün 5.44 kg KOİ/m³.gün olduğu ve HBS'nin 2.5 gün olduğu durumda KOİ ve yağ-gres giderimi sırası ile % 83.52 ve % 86.95 iken, organik yükün 6.8 kg KOİ/m³.gün olduğu ve HBS'nin 2 gün olduğu durumda KOİ ve yağ-gres giderimi sırası ile % 86.70 ve % 76.39 olarak belirlenmiştir.

Öte yandan 5.44 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında sistemde giderilen KOİ'nin metana dönüşüm oranı 0.29 iken 6.8 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında bu

oran 0.30 değerinde bulunmuştur. Sistemde oluşan toplam gaz hacmi organik yükün artmasına bağlı olarak artış göstermektedir. Buna karşın yağ-gres giderimi azalmaktadır.

Tablo 3.37'den de görüleceği gibi 5.44 kg KOİ/m³.gün'lük organik yük altında toplam yağlı madde (toplam yağ asitleri % 81.03 ve toplam lipit % 70.59 olarak) giderimi düşmektedir. Ayrıca yağlı madde konsantrasyonu, alıcı ortam standartlarının çok üzerindedir. Bu nedenle ikinci bir arıtma sistemine gerek duyulmaktadır.

Tablo 3.36 Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (5.44, 6.80 ve 13.60 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

HBS, gün		1		2.5		2.0	
Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün		13.6		5.44		6.8	
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim	Çıkış	Verim	Çıkış	Verim
pH	7.33	6.67	-	7.22	-	7.16	-
KOİ, mg/L	13600	3000	77.94	2240	83.52	1810	86.70
Yağ-gres, mg/L	2605	840	67.75	440	86.95	615	76.39
T. Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1330	860	35.37	950	28.57	900	31.57
TKM, mg/L	4000	2620	59.50	910	77.25	1105	72.37
AKM, mg/L	2440	720	70.49	425	82.58	765	68.64
UKM, mg/L	2140	810	62.15	375	82.47	420	80.37
T. Fosfor, mg/L	170	147	13.53	121	28.82	126	25.88
T.Kj. Azotu, mg/L	281	263	6.41	244	13.16	250	11.03
Sülfat, mg/L	426	185	56.57	198	53.52	104	75.59
KOİ/N/P Oranı		100 / 2.07/ 1.23					
Toplam gaz hacmi, L		101.0		134.6		145.5	
CH ₄ , L		82.8		107.7		120.8	
CO ₂ , L		18.2		26.9		24.7	
L Top. gaz/ g KOİ		0.29		0.36		0.37	
L CH ₄ / g KOİ		0.24		0.29		0.30	

Tablo 3.37. 5.44 kg KOİ/m³.gün'lük Organik Yük Altında Yağ Asitlerinin Giderimi.

Yağ asitleri	Giriş, mg/L	%	Çıkış, mg/L	%	Verim, %
Miristik asit (14:0)	14.90	1.16	-	-	100.00
Palmitik asit (16:0)	38.76	3.00	1.55	0.63	96.00
Stearik asit (18:0)	44.10	3.42	1.47	0.60	96.66
Oleik asit (18:1)	333.33	25.78	96.97	39.51	70.91
Linoleik asit (18:2)	833.33	64.42	140.00	57.06	83.20
Araşhidik asit (20:0)	8.69	0.68	-	-	100.00
Behenik asit (22:0)	1.33	0.10	-	-	100.00
Dedekte edilemeyen	19.24	1.49	5.41	2.20	-
Toplam yağ asidi	1293.68	100.00	245.40	100.00	81.03
Toplam lipit	993.70	-	292.20	-	70.59

Bu çalışmalarda organik yük 15 kg KOİ/m³.gün'ün üzerine çıkartılmıştır. Sonuçlar Tablo 3.38 ve Tablo 3.39'da belirtilmektedir.

Tablo 3.38. Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (7.83, 11.75 ve 18.80 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

HBS. gün	2.4			1.6		1	
Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün	7.83			11.75		18.8	
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim	Çıkış	Verim	Çıkış	Verim
pH	7.26	7.02	-	7.14	-	6.86	-
KOİ, mg/L	18800	2200	88.30	2840	84.89	9490	49.52
Yağ-gres, mg/L	3180	420	86.79	654	79.43	1705	46.38
T. Alkalinite, mg/L CaCO ₃	1840	1340	27.17	1210	34.23	960	47.83
TKM, mg/L	13120	2010	84.68	3450	73.70	4890	62.73
AKM, mg/L	9280	920	90.08	1150	87.61	3680	60.34
UKM, mg/L	10900	1380	87.34	2200	79.81	4640	57.43
T. Fosfor, mg/L	110	96	12.72	-	-	-	-
T.Kj. Azotu, mg/L	486.4	393	19.20	-	-	-	-
Sülfat, mg/L	977	382	60.90	466	52.30	345	64.68
KOİ/N/P Oranı	100 / 2.59 / 0.59						
Toplam gaz hacmi, L	197.2			162.6		68.4	
CH ₄ , L	115.9			131.7		54.7	
CO ₂ , L	81.3			30.9		13.7	
L Top. gaz/ g KOİ	0.24			0.30		0.22	
L CH ₄ / g KOİ	0.21			0.24		0.18	

Tablo 3.39. Ham Atıksuların YAHÇY'nda Farklı Organik Yüklerdeki (6.14, 9.56 ve 14.33 kg KOİ/m³.gün) Arıtma Verimleri.

HBS. gün	1.2			1.8		2.8	
Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün	14.33			9.56		6.14	
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim	Çıkış	Verim	Çıkış	Verim
pH	7.24	6.66	-	6.81	-	7.12	-
KOİ, mg/L	17200	4400	74.42	2110	87.73	1880	89.07
Yağ-gres, mg/L	6735	1685	74.98	910	86.49	642	90.47
T. Alkalinite, mg/L CaCO ₃	2200	1280	41.81	1620	26.36	1260	42.73
TKM, mg/L	11600	4460	61.55	2880	75.17	1920	83.44
AKM, mg/L	2820	620	78.01	550	80.49	320	88.65
UKM, mg/L	9340	1900	58.24	1160	87.58	870	90.68
T. Fosfor, mg/L	186.5	174.2	6.60	166.5	10.72	163.8	12.17
T.Kj. Azotu, mg/L	554	521	5.96	489	11.73	492	11.19
Sülfat, mg/L	576	189	67.19	258	55.21	212	63.19
KOİ/N/P Oranı	100 / 3.22 / 1.084						
Toplam gaz hacmi, L	104.5			140.2		176.0	
CH ₄ , L	81.5			109.4		144.3	
CO ₂ , L	23.0			30.8		31.7	
L Top. gaz/ g KOİ	0.25			0.28		0.35	
L CH ₄ / g KOİ	0.18			0.22		0.29	

Tablo 3.38 ve Tablo 3.39' da belirtilen sonuçlar, ham atıksular ile yapılan çalışmalarda organik yükün 12 kg KOİ/m³.gün'ün üzerine çıkartılması ile sistem performansının önemli ölçüde düştüğünü ifade etmektedir.

3.2.7. Yukarı akışlı havasız çamur yatağı (YAHÇY)- aktif çamur (AÇ) sistemi

Arıtılabilirlik çalışmalarının son aşamasında, CHF'na ilaveten YAHÇY çıkışından alınan atıksular AÇ sistemine verilmiştir (Tablo 3.40). AÇ sistemine aşılama önceki çalışmayla aynı şartlarda yapılmıştır. Sistem, 15 gün süre ile sürekli havalandırılmıştır. Reaktördeki buharlaşma kayıpları saf su ile karşılanmıştır. YAHÇY'na ilave olarak kesikli AÇ sistemi ile arıtılabilirlik çalışması Tablo 3.41'de topluca verilmiştir.

Yağ fabrikasından alınan ham atıksuların CHF'na ilave olarak YAHÇY'nda arıtma işlemine tabi tutulmasının ardından sürekli beslemeli AÇ sistemindeki arıtılabilirlik çalışması sonuçları topluca Tablo 3.42 ve Tablo 3.43 ile Şekil 3.15'te verilmektedir.

Bu aşamada gerçekleştirilen çalışma sonuçları göz önüne alındığında 15. günün sonunda KOİ ve yağ-gres giderme verimleri sırasıyla % 91.55, ve % 84.81 oranında kaydedilmiştir. Sistem veriminin yüksek bulunması nedeni ile sürekli beslemeye geçilmiştir. Sürekli beslemede, 23 gün süre ile yapılan arıtılabilirlik çalışmalarında üç farklı atıksu kullanılmıştır.

Tablo 3.40. AÇ Sisteminde Kullanılan (CHF-YAHÇY Çıkış Suyu) Atıksuyun Karakteristiği.

Parametre	Ham atıksu	CHF Çıkışı	CHF+YAHÇY Çıkışı
pH	8.02	7.98	3.97
KOİ, mg/L	14800	10120	710
Yağ-gres, mg/L	4250	2850	158
TKM, mg/L	9240	7640	590
AKM, mg/L	6800	4820	282

Tablo 3.41. Kesikli AÇ Sisteminde 15 Günlük Periyotta Arıtma Verimleri.

Gün	Sıcaklık, °C	pH	KOİ, mg/L	Yağ-gres, mg/L	AKM, mg/L
1	19.4	7.05	710	158	350
5	19.5	7.09	380	58	1210
10	19.8	7.10	210	32	1460
15	20.1	7.06	60	24	1100

En uygun bekleme süresinin belirlenmesi amacıyla sistemde HBS, ilk 6 günlük periyotta 2 gün, 7-15 günlük periyotta 1 gün, 16-19 günlük periyotta 0.5 gün ve 20-23 günlük periyotta 0.25 gün olarak uygulanmıştır.

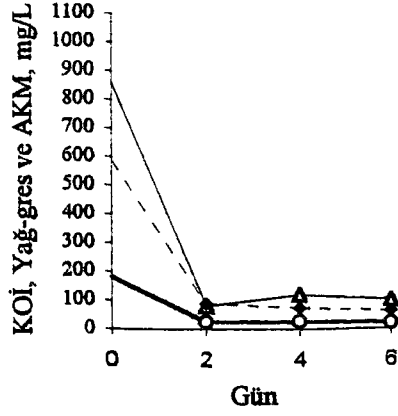
Elde edilen veriler ışığında YAHÇY çıkış sularının AÇ sistemi ile arıtılabilmesi için optimum HBS'nin yaklaşık 1 gün civarında tutulması gerekmektedir. Bu süreçte F/M oranı 0.40-0.42 arasında bulunmuştur. Reaktördeki tam karışimli sıvıda uçucu askıda katı madde konsantrasyonu (UAKM) 2265-2310 mg/L, çamur hacim indeksi (ÇHI) ise 54-66 ml/g olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.42. Sürekli Beslemeli AÇ Sisteminde 23 Günlük Periyotta Arıtma Verimleri.

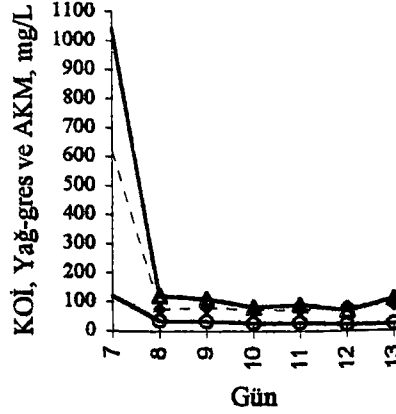
Gün	Sıcaklık, °C	pH	KOİ, mg/L	Yağ-gres, mg/L	AKM, mg/L	HBS, gün	UKM mg/L	F/M Oranı	CHİ, ml/g
Giriş	19.6	7.18	860	180	586	-	920		-
2	19.2	7.21	80	24	88	2.0	1860	0.21	58
4	20.4	7.20	120	26	74	2.0	2080	0.18	62
6	20.4	7.26	100	20	63	2.0	2130	0.18	55
7	20.9	7.26	1040	132	620	-	2130	-	
8	21.3	7.28	120	34	76	1.0	2265	0.41	54
9	21.6	7.28	110	32	82	1.0	2280	0.41	54
10	21.8	7.32	80	26	74	1.0	2300	0.42	58
11	22.0	7.26	90	28	72	1.0	2280	0.42	62
12	21.9	7.25	70	22	86	1.0	2380	0.41	66
13	20.6	7.21	110	24	88	1.0	2310	0.40	64
14	20.2	7.32	980	126	590	-			
15	20.5	7.32	120	28	84	0.5	2490	0.69	72
16	20.6	7.30	100	36	72	0.5	2540	0.69	74
17	20.8	7.28	130	20	68	0.5	2610	0.65	88
18	21.4	7.42	150	38	82	0.25	2700	1.23	86
19	21.3	7.38	120	42	86	0.25	2900	1.19	92
20	20.9	7.34	130	46	94	0.25	2980	1.14	94
21	21.2	7.38	140	34	110	0.25	3100	1.08	94
22	21.4	7.40	140	30	98	0.25	3040	1.11	98
23	17.8	7.35	110	28	70	0.25	3240	1.07	170

Tablo 3.43. AÇ Sisteminde Ortalama KOİ, Yağ-Gres ve AKM Giderimi.

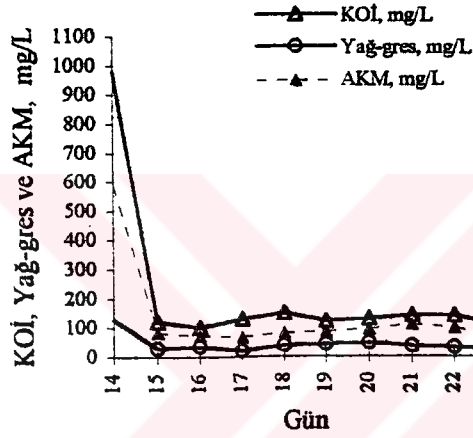
HBS, gün	Ortalama F/M	Organik yük, kg KOİ/m ³ .gün	Ortalama verim, %		
			KOİ	Yağ-gres	AKM
2.0	0.19	0.430	88.37	87.03	87.20
1.0	0.40	1.040	90.71	79.04	87.14
0.5	0.68	0.490	88.13	77.78	87.91
0.25	1.14	0.245	86.56	71.17	84.18



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.15. AÇ Sisteminde 23 Günlük Periyotta Farklı HBS'ndeki [(a=2 gün), (b=1 gün), (c= 0.5 ve 0.25 gün)] KOİ, Yağ-Gres ve AKM Giderme Verimleri.

AÇ sisteminden verim alınması üzerine herhangi bir fizikokimyasal arıtma yöntemi uygulanmadan, atıksuların tamamen biyolojik yöntemlerle arıtılabilirliğini tespit etmek için arıtılabilirlik çalışmalarının son aşamasında YAHÇY-AÇ sistemi kullanılmıştır. Bu amaçla CHF-YAHÇY'nda arıtma tabi tutulmuş olan ve Tablo 3.25, Tablo 3.27, Tablo 3.29 belirtilen YAHÇY çıkış suları AÇ sistemine verilerek, sistemin arıtma verimliliği denenmiştir. Ayrıca Tablo 3.31'de belirtilen ve yağ kapalı çıkış sularının YAHÇY'nda arıtımı sonucunda alınan çıkış suları AÇ sistemine verilerek arıtım etkinliği denenmiştir.

AÇ sisteminde, çözülmüş oksijen konsantrasyonu 2.5-3.0 mg/L, sıcaklık 24.6-21.2 °C aralığında ayarlanmış ve HBS (1 gün) sabit tutulmuştur. Arıtılabilirlik

çalışmalarının bu aşamasında KOİ, yağ-gres ve TKM ile AKM giderme verimleri incelenmiştir (Tablo 3.44-3.47).

Tablo 3.44. YAHÇY (HBS=2 gün)-AÇ Sistemi (HBS=1 gün)'nde Arıtılabilirlik Çalışmaları.

Arıtma Sistemi	YAHÇY			AÇ Sistemi			Toplam Verim, %
HBS, gün	2.0			1.00			
O.Y. kg KOİ/m ³ .gün	2.8			0.71			
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim, %	Giriş	Çıkış	Verim, %	%
pH	7.46	7.21	-	7.21	7.26	-	-
KOİ, mg/L	5600	710	87.32	710	160	77.46	97.14
Yağ-gres, mg/L	542	60	88.93	60	28	53.33	94.83
TKM, mg/L	7860	980	87.53	980	228	86.93	98.33
AKM, mg/L	3620	290	91.99	290	75	74.13	97.92
T. Fosfor, mg/L	158	141	10.76	141	-	-	-
T.Kj. Azotu, mg/L	273	247	9.52	247	-	-	-

Tablo 3.45. YAHÇY (HBS=1 gün)-AÇ Sistemi (HBS=1 gün)'nde Arıtılabilirlik Çalışmaları.

Arıtma Sistemi	YAHÇY			AÇ Sistemi			Toplam Verim, %
HBS. gün	1.0			1.0			
O.Y. kg KOİ/m ³ .gün	4.0			0.8			
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim, %	Giriş	Çıkış	Verim, %	%
pH	6.86	6.48	-	6.48	7.06	-	-
KOİ, mg/L	4000	800	80.00	800	90	88.75	97.75
Yağ-gres, mg/L	500	98	80.40	98	22	77.55	95.60
TKM, mg/L	4920	1010	79.47	1010	440	56.43	89.74
AKM, mg/L	2110	460	78.20	460	120	73.91	94.31
T. Fosfor, mg/L	102.6	92.4	9.94	92.4	-	-	-
T.Kj. Azotu, mg/L	188.4	168	10.82	168	-	-	-

Tablo 3.46. YAHÇY (HBS=2.5 gün)-AÇ Sistemi (HBS=1 gün)'nde Arıtılabilirlik Çalışmaları.

Arıtma Sistemi	YAHÇY			AÇ Sistemi			Toplam Verim, %
HBS, gün	2.50			1.00			
O.Y. kg KOİ/m ³ .gün	2.32			0.72			
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim, %	Giriş	Çıkış	Verim, %	
pH	7.38	7.06	-	7.06	7.18	-	-
KOİ, mg/L	5800	720	87.59	720	110	84.72	98.10
Yağ-gres, mg/L	974	142	85.42	142	38	73.23	96.98
TKM, mg/L	2780	430	84.53	430	210	51.16	92.44
AKM, mg/L	1840	380	79.35	380	66	82.63	96.41
T. Fosfor, mg/L	67.82	56.14	17.22	56.14	-	-	-
T.Kj. Azotu, mg/L	80.00	73.00	8.75	73.00	-	-	-

Tablo3.47. YAHÇY (HBS=2.20 gün)-AÇ Sistemi (HBS=1 gün)'nde Arıtılabilirlik Çalışmaları.

Arıtma Sistemi	YAHÇY			AÇ Sistemi			Toplam Verim, %
HBS, gün	2.20			1.00			
O.Y. kg KOI/m ³ .gün	4.30			1.34			
Parametre	Giriş	Çıkış	Verim, %	Giriş	Çıkış	Verim, %	
pH	7.25	7.13	-	7.13	7.21	-	-
KOI, mg/L	9460	1340	85.84	1340	520	61.19	94.50
Yağ-gres, mg/L	4320	540	87.50	540	360	33.33	91.66
TKM, mg/L	7280	1460	79.95	1460	610	58.21	91.62
AKM, mg/L	3660	480	86.88	480	290	39.58	92.08
T. Fosfor, mg/L	186.5	121.5	34.85	121.5	-	-	-
T.Kj. Azotu, mg/L	497	424	14.69	424	-	-	-

Bu çalışmalardan elde edilen bulgulara göre, yağ kapanı vasıtasıyla serbest yağları alınmış ve CHF'na tabi tutulmuş olan atıksuların YAHÇY'nda arıtıldıktan sonra AÇ sistemine verilmesi ile elde edilen çıkış suları alıcı ortam standartlarını karşılayabilmektedir. Bu şekilde aşırı kimyasal kullanımı ve diğer olumsuz etkiler ortadan kalkmaktadır.

Tablo 3.47'de belirtilen arıtılabilirlik çalışmalarında, atıksularda bulunan yağların bir kısmının yağ kapanı ile alınmasının ardından YAHÇY'na verilmesi ile atık konsantrasyonu önemli ölçüde düşmektedir. Ancak yağ kapanı-YAHÇY çıkış suları aşırı derecede KOİ ve yağ gres ihtiva ettiğinden AÇ sistemi verimsiz kalmaktadır. Sonuç olarak yağ kapanının ardından CHF ve YAHÇY'nda arıtım görmüş atıksuların AÇ sistemine verilmesi ile alıcı ortam standartlarına ulaşılmaktadır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yağ fabrikası atıksularının özelliklerinin belirlenmesi amacıyla rafineri, ekstraksiyon ve yağ asitleri prosesleri ile kalorifer kazan dairesi ve fabrika çıkışından alınan 32 adet atıksu numunesi incelenmiştir. Atıksu özelliklerini belirlemek için değişik zamanlarda alınan numunelerin ölçüm ve analiz sonuçları Tablo 3.1-3.9'da verilmiştir. Tablolardan görüleceği gibi fabrikada değişik birimlerden farklı zamanlarda alınan numunelerde, kirletici konsantrasyonları değişken özellikler arz etmektedir. Bu durum nötralizasyon, deodorizasyon, vintirizasyon ve yağ asitleri ünitelerinde farklı miktar ve özelliklerde atıksuların oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca üretim proseslerinin temizlenmesi, filtrelerin yıkanması, yağ kaçaqlarına engel olunamaması gibi faktörler de atıksu bileşimini etkilemektedir.

Ekstraksiyon ünitesi atıksuları ortalama 33 °C sıcaklıkta ve ortalama pH'ı 7.73 olan atıksulardır (Tablo 3.1). Bu atıksuların KOİ ve yağ gres konsantrasyonları sırası ile 200-880 mg/L ve 80-270 mg/L arasında olup atıksularının ortalama debisi 126.28 m³/gün'dür. Ekstraksiyon ünitesi atıksularının kirlilik yükü düşük düzeydedir. Ancak bu ünitenin atıksuları alıcı ortamlarda ısıl kirlenmeye sebep olabilir.

Nötralizasyon ünitesinde bulunan seperatör çıkış sularının içerdiği kirletici konsantrasyonları her seperatör kademesinde azalmaktadır. Nötralizasyon aşamasında yan ürün olarak oluşan sabun stoğu, işletmelerin tercihlerine göre yağ asitleri veya sabun üretiminde kullanılmak üzere değerlendirilmektedir. Atıksuyun özellikleri fabrikada yağ asidi veya sabun imalatı yapıp yapılmadığına göre değişebilmektedir.

Rafineri ünitesinde en büyük noktasal kirletici kaynak, nötralizasyon aşamasında kullanılan 1.seperatör çıkış sularıdır. Şengül (1992) ve Öztürk ve diğ. (1994), tarafından benzer endüstri atıksuları ile ilgili yapılan çalışmalarda da aynı durum belirtilmektedir. Sabun stoğunu içermeleri nedeniyle fabrikanın en kirli sularıdır. Sabun stoğu, 76000-220000 mg/L arasında KOİ, 14840-48600 mg/L arasında yağ-gres içermektedir (Tablo 3.2). Fabrikada oluşan sabun stoğu yağ asitleri üretiminde kullanılarak değerlendirilmektedir.

Rafineri ünitesinde, ham yağın nötralizasyonu sırasında 2. ve 3. seperatörlerde oluşan atıksuların sıcaklığı 62.25-71.83 °C aralığında olup, pH'ı 10.93-12.56'dır. Yüksek

alkaliniteye sahip olan bu atıksuların KOİ ve yağ-gres konsantrasyonları sırası ile 7800-8240 mg/L ve 3160-3410 mg/L'dir (Tablo 3.3). Seperatörlerden oluşan atıksular hem kirlilik yükü hem de ısı kirlenme bakımından önem taşımaktadır. Bu suların kesinlikle arıtıldıktan sonra alıcı ortama verilmesi gerekir.

Nötralizasyon ünitesinin 2. - 3. seperatör çıkış suları ile deodorizasyon ve vinterizasyon ünitelerinden kaynaklanan sular rafineri atıksularını oluşturmaktadır. Bazik karakterde olan (pH'ı 8.45-10.06) atıksularda yağ-gres konsantrasyonu 3945-9780 mg/L olup, KOİ konsantrasyonu 6000-19600 mg/L'dir. Bu atıksuların BOİ₅ konsantrasyonu 2460-11200 mg/L ve sülfat konsantrasyonu 156-325 mg/L aralıklarında değişmektedir. Rafineri atıksuların miktarı ise ortalama 92.60 ton/gün'dür (Tablo 3.4).

Rafineride kurulu bulunan nötralizasyon ünitesindeki 1. seperatör çıkış suları atıksu olarak deşarj edilmeyip, yağ asidi üretiminde kullanılmaktadır. Yağ asidi üretimi sonucunda ortaya çıkan atıksuların ortalama pH'ı 1.97, sülfat konsantrasyonu 4456 mg/L'dir. Bu atıksuların sıcaklığı ortalama 55.30 °C olup, yağ-gres konsantrasyonu minimum 620, maksimum 3280 mg/L ve KOİ konsantrasyonu 4400-10600 mg/L aralıklarında değişmektedir. Asidik atıksuların miktarı ise ortalama 71.56 ton/gün'dür (Tablo 3.5). Öztürk ve diğ. (1990), asidik suların pH'ının 1,7 civarında ve sülfat konsantrasyonunun 4000 mg/L civarında olduğunu belirtmişlerdir. Analiz sonuçları, bu değerler ile uyum göstermektedir. Öztürk ve diğ. (1989), bir ton yemeklik yağ üretiminden 0,5-0,6 m³ asidik atıksuyun oluştuğunu ve BOİ₅-AKM, BOİ₅-KOİ ile KOİ-Yağ-gres parametreleri arasında kuvvetli kolerasyonlar bulunduğunu belirtmektedirler. Bu çalışmada, 1 ton yemeklik yağ başına 0.71-0.86 m³ asidik suyun oluştuğu ve KOİ ile yağ-gres parametreleri arasında kuvvetli kolerasyonların bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Kalorifer kazan dairesi atıksuları önemli derecede kirlilik oluşturmamaktadır, ancak zaman zaman düşük oranlarda petrol kökenli yağlar atıksuya karışmakta ve bu durum atıksudaki yağ-gres KOİ konsantrasyonunu artırmaktadır.

Rafineri ve yağ asitleri ünitesi atıksuları fabrika dışında birleşerek, fabrika çıkış sularını oluşturmaktadır. Fabrika çıkışından alınan kompozit numunelerde yapılan analizler sonucunda minimum ve maksimum değerler açısından sıcaklık, 46.45-65.26 °C, pH 7.43-9.56 toplam alkalinite 800-1990 mg CaCO₃/L, yağ-gres 540-7640 mg/L, KOİ 5600-19300mg/L, BOİ₅ 1050-10300 mg/L, sülfat 160-1080 mg/L, toplam fosfor 216-

556.20 mg/L, kjeldahl azotu 19.80-125.40 mg/L, TKM 3700-12800 mg/L, AKM 410-3240 mg/L, UKM 4300-9680 mg/L ve TÇKM 4590-10200 mg/L olarak tespit edilmiştir. Atıksuların debisi ortalama 315.88 m³/gün'dür (Tablo 3.7). Fabrika atıksularının biyolojik arıtımı için sınırlayıcı besin maddesinin azot olduğu tespit edilmiştir. Fabrika çıkışından alınan numunelerde yapılan analizler, atıksuların içerdiği KOİ'nin büyük ölçüde yağ-gres konsantrasyonuna bağlı olduğunu ($R=0.959$) ortaya koymaktadır. Bu durum yağ-gres konsantrasyonunun azaltılması ile KOİ yükünün de önemli düzeyde azaltılabileceğini göstermesi açısından önem arz etmektedir. Arıtılabilirlik çalışmalarında yöntem seçimi için kriterlerden biri olarak kabul edilen atıksulardaki KOİ/yağ-gres oranı 2.05-3.08 arasında değişmektedir. Önceki çalışmalarda KOİ/yağ-gres için Dart (1974), 2-3.2 oranını, Eroğlu ve diğ. (1990), 5 oranını ve Şengül ve diğ (1992) ise .2-6.7 oranlarını vermişlerdir.

Arıtılabilirlik çalışmalarının ilk basamağında serbest yağların giderimi araştırılmıştır. Bu amaçla fabrikada bulunan yağ kapanı verimleri belirlenmiştir (Tablo 3.11). Yağ kapanı girişi ve çıkışında yapılan analizler, KOİ ve yağ-gres veriminin atıksuyun pH'ına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymaktadır. Örneğin, atıksuyun pH değeri 6.96 olduğu durumda ortalama % 25.34 KOİ ve % 21.43 oranlarında yağ-gres giderimi gerçekleşirken, pH'ın 8.46 olması halinde KOİ ve yağ-gres verimi sırası ile % 16.27 ve % 12.08 değerlerine düşmektedir. Bu durum pH'ın düşmesine bağlı olarak emülsiyon halindeki yağların bir kısmının serbest yüzebilir yağ konumuna gelmesi ve yüzeye doğru yükselmesiyle açıklanabilir.

CHF sisteminde yapılan çalışmalarda yağ kapanı çıkış suları kullanılmış ve farklı pH değerlerindeki atıksularda arıtılabilirlik çalışmaları gerçekleştirilmiş ve çalışma sonuçları Tablo 3.12'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, yağ kapanında olduğu gibi CHF sisteminde de atıksuyun pH'nın düşmesine bağlı olarak arıtma verimi artmaktadır. Örneğin pH'ı 3.56 olan atıksuda CHF ile % 69.12 KOİ giderimi gerçekleşirken, % 76.32 oranında yağ-gres giderilmektedir. pH 7.48'de ise KOİ ve yağ gres giderimleri sırası ile % 17.65 ve % 28.50 olarak gerçekleşmektedir. Keller ve Cantrell (1975)'e göre, yağ kapanı çıkışından alınan atıksuların CHF'nda arıtımı sonucu % 33 BOİ₅, % 32 AKM ve % 62 yağ-gres giderimi sağlanmaktadır. Ho ve Tan (1989), CHF ile % 79.2 oranında KOİ ve % 59.2 oranında TKM giderme verimlerine ulaşıldığını

belirtmektedirler. Çalışmamızda elde edilen bulgularımız ile araştırmacıların bulguları paralellik göstermektedir.

Asit ile emülsiyon kırma ve kireç ile koagülasyon çalışmalarında, pH değeri 11.05 olan 1 litre atıksuyun pH'sını 1.95-1.98 aralığına indirmek için 2.1 ml % 98 sülfürik asit (Merck) çözeltisi kullanılırken, % 37 hidroklorik asit (Merck) çözeltisi için bu miktar 4.36 ml olarak bulunmuştur.

Asitlendirilmiş atıksuyun kireç ile koagülasyonu için, pH'ın 9-11 seviyelerine çıkartılması gerekmektedir. Yüksek pH şartlarında çökelmeyi sağlamak için yaklaşık olarak 16-18 gram kireç ilavesi gerekmektedir. Asitlendirilmiş numunelere kireç ilavesi ile yapılan Jar Testi çalışmalarında % 63.19-80.66 KOİ giderimi ve % 76.95-83.38 oranlarında yağ-gres giderimi sağlanmıştır. TKM ve AKM giderimi ise % 61-85 arasında değişmektedir. 15-16 g/L kireç ilavesiyle KOİ konsantrasyonu 260-420 mg/L, yağ-gres miktarı ise 45-104 mg/L değerine düşmektedir. Kullanılan kireç miktarı, kirecin safsızlık oranına bağlı olarak değişebilmektedir.

Kireç ile koagülasyon işleminde 1880-2520 mg/L çamur oluşmaktadır. Ayrıca, alıcı ortam standartlarını sağlamak için, pH'ı 10 dolaylarına getirilmiş olan atıksuyun nötralizasyonu için asit ilavesi gerekmektedir. Kireç ile koagülasyon sonucunda çıkış sularının pH'ını nötral hale getirmek için 1-1.2 ml/L % 98 sülfürik asit (Merck) veya 1.35-1.56 ml/L % 37 hidroklorik asit (Merck) çözeltileri gerekmektedir. Kireç ile koagülasyon çalışmalarında önemli ölçüde sülfat giderimi sağlanamamıştır. Örneğin, 840 ve 1280 mg/L sülfat konsantrasyonuna sahip atıksularda yapılan kireç ile koagülasyon deneylerinde sülfat miktarı, sırası ile % 24 ve % 27 azalarak, 605 ve 970 mg/L değerine düşmüştür. Asit ile emülsiyon kırma ve kireç ile koagülasyon yönteminde asit sarfiyatının fazlalığı, aşırı çamur oluşumu, çıkış suyundaki yüksek sülfat gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Alum ve demir (III) klorür kullanımı ile yapılan koagülasyon çalışmalarında, optimum koagülant dozları sırası ile 0.74-0.92 mg/L ve 0.47-0.82 mg/L olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, alum için atıksu optimum pH aralığı 6.00-6.20, demir (III) klorür için ise 6.80-7.05 olarak bulunmuştur (Tablo 3.15 ve Tablo 3.16). Alum kullanımı sonucunda çıkış suyu pH'ı 3.97-4.49, demir (III) klorür kullanımı ile 4.48-4.98 aralıklarındadır. Her iki koagülantın arıtma verimleri kıyaslandığında bitkisel yağ sanayi

atıksularının arıtımı için demir (III) klorürün daha uygun olduğu tespit edilmiştir. Koagülasyonda kullanılan demir (III) klorür, aynı atıksu için harcanan alum miktarından % 55-% 69 daha azdır. Ayrıca KOİ, yağ-gres, TKM ve AKM giderme verimleri göz önüne alındığında demir (III) klorürün bariz bir üstünlüğü görülmektedir. Alum ve demir (III) klorür kullanımı ile yapılan koagülasyon denemelerinde önemli arıtma verimleri elde edilmiştir, fakat alıcı ortama deşarj standartlarına ulaşamamıştır.

Koagülasyon çalışmalarında farklı alum miktarlarına ek olarak her birine 5'er gramlık kil ilavesi ile optimum alum dozu 0.47-0.82 mg/L'den 0.16-0.32 g/L değerlerine düşmektedir. KOİ ve yağ gres giderme verimleri de sırası ile % 88.14-92.99 ve %69.89-92.11'den % 94.66-95.37 ve % 96.88-97.78'e yükselmektedir. Çalışmalar sonucunda, alum-kil kullanımı ile yapılan koagülasyon deneylerinde oluşan çamur miktarı, kireç kullanımı sonucu oluşan çamur miktarından % 58 daha azdır.

Yağ kapanı çıkışından alınan numunelerin CHF'ndan geçirildikten sonra AÇ sistemine verilmesi ile yapılan arıtılabilirlik çalışmalarında, kesikli olarak çalıştırılan AÇ sisteminde 21. günde ancak % 39.34 KOİ ve % 35.67 oranlarında yağ-gres giderimi elde edilmiştir. Bu nedenle yağ kapanı çıkışından alınan atıksuların CHF- AÇ sistemiyle arıtılabilirliği mümkün görülmemiştir.

YAHÇY'nda 18. günde oluşan günlük toplam gazın 0.340 L ve giderilen KOİ'nin gaza dönüşüm oranının 0.206 g KOİ/ L'ye yükselmesi üzerine reaktör, sürekli besleme ile işletmeye alınmıştır. Kesikli olarak yürütülen 20 günlük alıştırma devresi sonunda % 88.0 KOİ, % 86.9 yağ-gres, % 89.6 TKM ve % 89.9 UKM giderme verimleri sağlanmıştır. İşletme sürecinde ilk günlerde düşük organik yükler uygulanmış olup, sistem performansının artışına bağlı olarak organik yük tedricen artırılmıştır.

YAHÇY'da yapılan çalışmalar, atıksudaki yağ-gres konsantrasyonunun 500 mg/L'den az olması halinde organik yükün 10-12 kg KOİ/m³.gün'e kadar çıkartılabildiğini ve bu şartlarda %75'ten fazla oranda KOİ giderme verimi elde edilebildiğini göstermiştir. Atıksudaki 500 mg/L'lik yağ-gres konsantrasyonunda optimum HBS 1-2 gün iken, yağ-gres konsantrasyonunun 4000 mg/L olması halinde HBS 2.5 güne çıkmaktadır. 6735 mg/L yağ-gres içeren ham atıksuların YAHÇY'da arıtımında ise optimum HBS 2.8 gün olarak kaydedilmiştir. Dolayısıyla KOİ giderimi, atıksuyun yağ-gres konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermekte ve yağ-gres

konsantrasyonunun artışına bağlı olarak HBS'nin de artırılması gereği ortaya çıkmaktadır. Düşük organik yüklerdeki yağ-gres giderme verimi KOİ giderimi ile paralellik göstermekle beraber aşırı organik yüklemelerde yağ-gres, KOİ'den daha düşük düzeyde giderilmektedir. Yüksek organik yüklerdeki %75'in altındaki düşük KOİ giderime verimleri atıksudaki yağ-gres konsantrasyonunun yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Arıtma veriminin etkileyen diğer bir faktör, aşırı organik yüklemelerdir. Organik yükün $12 \text{ kg KOİ} / \text{m}^3 \cdot \text{gün}$ 'ü aşması durumunda KOİ giderim verimi % 70'in altına düşmekte ve $18 \text{ kg KOİ} / \text{m}^3 \cdot \text{gün}$ 'lük organik yükte verim %40'a kadar inmektedir. Organik yükün $12 \text{ kg KOİ} / \text{m}^3 \cdot \text{gün}$ değerinin altında olması durumunda KOİ giderme verimi % 70-90 arasında değişmektedir.

YAHÇY ile yapılan arıtılabilirlik çalışmalarında arıtma verimlerinin yüksek olduğu durumlarda, optimum HBS ve organik yüklemelerde atıksuda bulunan sülfat konsantrasyonları ile giderilen KOİ'nin metana dönüşüm oranı arasında ters orantılı bir ilişkinin olduğu sonucuna varılmıştır. Örneğin atıksudaki 222 mg/L sülfat konsantrasyonunda giderilen KOİ'nin metana dönüşüm oranı $0.36 \text{ L CH}_4 / \text{g KOİ}$ iken sülfat miktarının 977 mg/L 'ye çıkması durumunda bu oran $0.21 \text{ L CH}_4 / \text{g KOİ}$ değerine düşmektedir. Atıksudaki sülfatın 500 mg/L 'nin üzerinde olması proses veriminde azalmalara sebep olmaktadır. YAHÇY ile yaptığımız çalışmalarda kullanılan atıksuların $\text{KOİ}/\text{SO}_4^{=}$ oranları 10'dan büyüktür. Ayrıca düşük düzeyde sülfat giderimi sağlanmıştır. Çalışmalar boyunca YAHÇY'nda oluşan toplam gazın %68-74' ü metan ve % 26-32 si karbondioksittir. Oluşan gazda hidrojen sülfüre rastlanılmamıştır. Bu durum, hidrojen sülfürün reaktördeki kısmi basıncının az olması ve böylece çözeltide tutulması ile açıklanabilir.

YAHÇY ile yapılan arıtılabilirlik çalışmaları boyunca optimum HBS 2-2.5 gün ve optimum organik yük $1.62\text{-}7.83 \text{ kg KOİ} / \text{m}^3 \cdot \text{gün}$ olarak tespit edilmiş olup, bu şartlarda % 85'in üzerinde KOİ ve yağ-gres giderme verimleri gerçekleşmiştir. Optimum işletme şartlarında giderilen KOİ'nin metana dönüşüm oranları $0.24\text{-}0.36 \text{ L CH}_4 / \text{g KOİ}$ aralıklarındadır. İşletme aşamasında yüksek verimin alındığı şartlarda toplam lipid ve yağ asitleri giderimi incelenmiş olup, atıksularda bulunan yağ asitlerinin linoleik > oleik > stearik > palmitik > araşhidik > miristik asitler şeklinde olduğu ve YAHÇY ile % 70-94 düzeyinde toplam lipid ve % 81-95 düzeyinde toplam yağ asitleri giderimi sağlandığı

tespit edilmiştir. Bitkisel yağ sanayii atıksularının arıtımında YAHÇY, yağ kapanının ardından ön arıtım prosesi olarak kullanılabilir. Ancak alıcı ortam standartlarına ulaşmak için ilave sistemlere gerek duyulmaktadır.

Yağ fabrikasında kurulu bulunan yağ kapanı çıkışından alınan atıksuların CHF'na ilave olarak YAHÇY'nda arıtma işlemine tabi tutulmasının ardından yarı kesikli beslemeli AÇ sistemindeki arıtılabilirlik çalışmaları neticesinde, 15. günün sonunda KOİ ve yağ-gres giderme verimleri sırası ile % 91.55, ve % 84.81 oranlarında kaydedilmiştir. Sistem veriminin yüksek bulunması nedeni ile sürekli beslemeye geçilmiştir. Sonuçlar ışığında YAHÇY çıkış sularının AÇ sistemi ile arıtılabilmesi için optimum HBS'nin yaklaşık 1 gün civarında tutulması gerekmektedir. Bu sürede çamur çökelme karakteristikleri iyi olup, çamur hacim indeksi (ÇHI) 54-66 ml/g , F/M oranı 0.40-0.42 ve tam karışımli sıvıda UAKM konsantrasyonu 2265-2310 mg/L aralıklarında optimize edilmiştir. Bitkisel yağ sanayii atıksularının arıtımında, yağ kapanı-CHF-YAHÇY-AÇ sistemi ile 50 mg/L yağ-gres ve 200 mg/L KOİ konsantrasyon limitlerine ulaşarak alıcı ortam standartları sağlanmaktadır.

5. ÖNERİLER

1. Bitkisel yağ sanayi atıksularının arıtımı için bir dengeleme havuzunun yapılması şarttır.
2. Biyolojik arıtım için kullanılacak atıksuların nötralizasyonu, fabrikadaki yağ asitleri çıkış suları ile yapılabilir. Böylece ek asit gereksinimi ortadan kaldırılmış olacaktır. Yağ asitleri ünitesinden çıkan atıksuların içerdiği yağ-gres, yağ kapanı ile alındıktan sonra asidik su, belirli oranda alkali rafineri sularıyla karıştırılabilir ve pH nötral hale getirilebilir.
3. Fabrikada oluşan atıksuların içerdiği kirleticilerin minimize edilmesi için optimum işletme şartlarının tespit edilmesi ve yağ kaçağının önlenmesi gerekmektedir.
4. Bu çalışmada kireç, alum ve demir (III) klorür gibi koagülantların giderme verimlerinin yüksek bulunmasına karşın, kimyasal madde sarfiyatının yüksek olması ve oluşan çamur hacminin fazla olması gibi dezavantajlar tespit edilmiştir. Bundan sonraki çalışmaların özellikle modifiye edilmiş biyolojik sistemlere kaydırılması faydalı olacaktır.
5. Atıksudaki aşırı sülfat konsantrasyonu anaerobik sistemlerde olumsuzluklara sebep olmaktadır. Anaerobik sistemlerden çıkan sulara sülfat ve/veya çözünmüş sülfidlerin giderimi için ek çalışmalar yapılmalıdır.
6. Anaerobik biyolojik proseslerde metan bakterileri ile sülfat bakterilerinin ilişkisi tam olarak ortaya konulmalıdır. Bu amaçla mikrobiyal çalışmalara öncelik verilmelidir.
7. Yağ kapamının ardından YAHÇY, tüm yağ fabrikalarında ön arıtım sistemi olarak kullanılabilir. Böylece hem yüksek düzeyde arıtım gerçekleştirilebilir hem de oluşan metan gazı fabrikadaki prosesleri ısıtmak amacıyla kullanılabilir. Ayrıca, bu metot ile atıksuların arıtımında aşırı kimyasal kullanımı da önlenmektedir.
8. Yapılan çalışmalar yağ asitlerinin YAHÇY'da yüksek düzeyde giderilebileceğini göstermiştir. Bu nedenle diğer yağlı atıksuların arıtımında bu sistemin kullanılabilirliği araştırılmalıdır.
9. Atıksuların sırası ile yağ kapanı-CHF-YAHÇY-AÇ sisteminde arıtılması ile alıcı ortam standartlarına ulaşabilmektedir. Bu yöntem gerçek ölçekli arıtma tesislerinde de denenmelidir.

KAYNAKLAR

- Adams, C.E. and Eckenfelder, W.W. 1974, Process Design Techniques for Industrial Waste Treatment, AWARE Inc. Naswille, Tennessee, Enwiro. Press., 21-23.
- Adams, C.E., Stein, M.R., Joseph, J.J. and Wals, T., 1975, Design and Performance of Physical-Chemical and Activated Sludge Treatment for an Edible Oil Plant. 30 Th. Purdue University Industrial Waste Conference Proceedings, Printed in USA, 457-464
- APHA, AWWA, WPCF, 1985, Standarts Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16 th Ed. Publ. Office American Publ. Health Assoc. 1015 Fiftenth-Str. N.W. Washington, DC. 20005.
- Basu, A.K., 1967, Treatment of Effluents From the Manufacture of Soap and Hydrogenated Vegetable Oil, WPCF, Vol. 39, No:10 Part 1, 1653-1657.
- Baykut, F., Aydın A. ve Baykut, S. 1987. Çevre Sorunları ve Korunma. İ.Ü. Müh. Fak. Yayınları No:73, İstanbul, 1987., 419 s.
- Buck, R.R. and Sekoulow, I., 1989, Reduction in Environmental Pollution Caused by Wastewaters from Edible Oil Refineries, Concept and Investigations. International Symposium on Waste Managment Problems in Agro-Industries, Istanbul, Turkey, 25-27, 271-278.
- Chanin, G., 1967, A Safe Solvent for Oil and Grease Analyses. Journal WPCF, Vol. 39, No:11 Part 1, 1893-1895.
- Chin, K.K., Ng, W.J. and Ma, A.N., 1987, Palm Oil Refinery Effluent Treatment by Sequencing Batch Reactors, Biological Wastes (20), 101-109.
- Choffel, G., 1976, Liquid Waste Treatment in the Vegetable Oil Processing Industry-European Practices. J. Am. Oil Chemists Soc. June 1976, Vol. 53, 446-448.
- Chiristie, W.W., 1990, Gas Chromatography and Lipids, The Oily Press, Glasgow, 302 p.
- Dart, M.C., 1974, Wastewater's from the Manufacture of Edible Oils and Margarine, Proceeding of Symposium Treatment of Wastes from the Food and Drinking Industry, The Institute of Water Pollution Control, Newcastle Upon Tyne, No:6, 45-46.

- DİE, 1994, Yağlı Tohumlular Ekiliş, Üretim ve Verimi. Türkiye İstatistik Yıllığı, TC Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara, 316 s.
- Eckenfelder, W.W. and Grau, P., 1992, Activated Sludge Process Design and Control: Theory and practice, Water Quality Management Library, Volume 1, Lancaster, Pennsylvania, USA, 127-129.
- Eroğlu, V., 1988, Yemeklik Yağ Sanayii Atıksularının Arıtımında Çözünmüş Hava Flotasyonu ve AÇ Sisteminin Verimliliğinin Araştırılması, 7. Türk-Alman Çevre Mühendisliği Sempozyumu'88. 19-21 Eylül 1988, İst., 177-191.
- Eroğlu, V., Öztürk, I. and San, H.A., Demir, I., 1990. Comparative Evaluation of Treatment Alternatives for Wastewaters from An Edible Oil Refining Industry. Water Sci. Tech. Vol. 22 No:9 , 225-234.
- Grady, C.P.L. and Lim, Jr. H.C., 1980, Biological Wastewater Treatment Theory and Applications. Marcel Dekker Inc. New York and Basel, 950 p.
- Güvezne, E., 1984, Sanayi Atıksularının Arıtımında TUR YAĞ Örneği, Çevre 84 Türk-Alman Çevre Mühendisliği Sempozyumu. 11-16 Haziran 1984, TÜBİTAK, İzmir, 29-33.
- Ho, C.C. and Tan, Y.K., 1989, Comparison of Chemical Flocculation and Dissolved Air Flotation Treated Palm Oil Mill Effluent. University of Malaya Dep. Chem. Water Resources, Vol.:23, No:4, Printed in Great Britain, 395-400.
- Kargı, F., 1992, Biotechnological Methods in Environmental Engineering, Doğa Tr. Journal of Engineering and Environmental Sciences, 16(1192), TÜBİTAK, 147-159.
- Kates, M., 1988, Techniques of Lipidology; Isolation, Analysis and Identification of Lipids, 2. nd Revised Edition, Newyork, 278.
- Keller, H.F. Jr. and Cantrell, M.K. 1975, Treatment of Vegetable Oil Refining Wastes to Conform to Government Regulation. J. Am. Oil. Chemists' Soc. January, 1975 (Vol. 52), 13A-17A.
- Mc Dermott, G.N., 1976, Liquid Waste Treatment in the Vegetable Oil Processing Industry- U.S. Practices. J. Am. Oil Chemists Soc. June 1976, Vol. 53, 449-457.
- Öztürk, İ., San, H.A. and Eroğlu, V., 1989. Pilot and Full Scale Treatability Studies on Wastewaters From an Edible Oil Refining Industry, 44 th Produe Univ. Industrial Waste Conference Proceedings, Printed in USA, 769-776.

- Öztürk, İ., San, H.A. and Eroğlu, V., 1990, Comparative Evaluation of Treatment Alternatives for Wastewaters From an Edible Oil Refining Industry. *Water Sci. Tech.* Vol. 22, No:9 , 225-234.
- Öztürk, İ., Öztaşkent, Y. ve Keçeci, A., 1994, Yemeklik Yağ Sanayi Proses atıksularının Kimyasal- Biyolojik Arıtımı. İTÜ 4. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu'94, 26-28 Eylül 1994, İstanbul, 43-53.
- Pollard, S.J.T., Sollars, C.J. and Perry, R., 1993, The Reuse of Spent Bleaching Earth: A Feasibility Study in Waste Minimisation for the Edible Oil Industry. *Bioresource Technology* (45), 53-58.
- Saw, C.B., Anderson, G.K. and Sanderson, J.A., 1986, Comparison of the Anaerobic Contact and Packed Bed Processes for the Treatment of Edible Oil Wastewater's, 41 st Produe Universty Industrial Waste Conference Proceedings, Printed in USA, 178-187.
- Seng, W.C. and Kreutzer, G.M., 1975, Resume of Total Operation of Waste Treatment Facility for Animal and Vegetable Oil Refinery. *J.Am.Oil. Chemists' Soc.* January, 1975 (Vol. 52), 9A-13A.
- Şengül, F., 1989, Endüstriyel Atıksuların Özellikleri ve Arıtılması, Dokuz Eylül Üniv. Müh.-Mim. Fak. MM/Çev.-89, EY 172, İzmir, 83-116.
- Şengül, F. ve Küçükgül, E.Y.,1990, Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, Dokuz Eylül Üniv. Müh-mim. Fak. Yayınları No: 153, İzmir, 211 s.
- Şengül, F., 1990, A Case Study on Sunflower Oil Industries Characterisation, Classification and treatment. *Water Sci. Tech.* Vol. 23 No:9, 241-248.
- Şengül, F., Filibeli, A. ve Karagündüz, A., 1992, Pamukyağı Endüstrisinin Karakteristikleri ve Arıtımı, İTÜ 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu'92, 7-8 Eylül 1992, İstanbul, 121-137.
- Şener,F. ve Büyükgüngör, H., 1992. Yağ Fabrikası Atıksularının Arıtımında Model Sistem Geliştirilmesi, İTÜ 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu' 92, 7-8 Eylül 1992, İstanbul, 139-150.
- Tay, J.H., 1990, Biological Treatment of Soya Bean Waste. *Water Sci. Tech.* Vol. 22 No:9, 141-147.

- Tsugita, R.A. and Ellis, R.H., 1981, Pre-treatment of Industrial Wastes Manual of Practice, WPCF, Lancaster Press, Pa. USA, No: FD-3, 63-72.
- TÜBİTAK (Ç.A.G.), 1984, Bitkisel Yağ Sanayii Atıksularının Çevre Sorunları İhtisas Komisyonu Raporu, Ed. O. Dumlulu, 54 S.
- Uslu, O., Sol, Ç., Türkman, A., Şengül, F. 1983. Zeytinyağı Üretim Atıksularının Arıtılması ile İlgili Çalışmalar. Dokuz Eylül Üniv. Müh. ve MİM. Fak. Çevre Müh. Böl. Su Kirlenmeleri Araştırmaları Türk Milli Komitesi, İzmir, 31-36.
- Uslu, O.ve Türkman,A. 1987, Su Kirliliği ve Kontrolu. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 1, 364 s.
- Watson, K.S., Meierhoefer, C.H., 1976. Use or Disposal of by-products and Spent Material from the Vegetable Oil Processing Industry in the USA. J.Am. Oil Chemists Soc. June 1976, Vol. 53, 437-442.



T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ