

**SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ  
ARITMA ALTERNATİFLERİ**

**Aslı ÇELİK**

**Yüksek Lisans Tezi  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yalçın GÜNEŞ  
2011**

**T.C.**  
**NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ**  
**ARITMA ALTERNATİFLERİ**

**Aslı ÇELİK**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yalçın GÜNEŞ**

**TEKİRDAĞ-2011**

**Her hakkı saklıdır**

Yrd.Doç.Dr. Yalçın GÜNEŞ danışmanlığında, Aslı ÇELİK tarafından hazırlanan bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Doç.Dr. Tuğba ÖLMEZ HANCI *İmza :*

Üye : Yrd.Doç.Dr. Yalçın GÜNEŞ *İmza :*

Üye : Yrd.Doç.Dr. Tolga TUNÇAL *İmza :*

Üye : ..... *İmza :*

Üye : ..... *İmza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ..... tarih ve ..... sayılı  
kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Fatih KONUKÇU  
**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SÜT ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITMA ALTERNATİFLERİ

Aslı ÇELİK

Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yalçın GÜNEŞ

Bu çalışmada iki farklı atıksu karakterizasyonuna sahip süt ve süt ürünleri endüstrisinden kaynaklanan atıksulara, laboratuvar koşullarında koagülasyon-flokülasyon ve ozon oksidasyonu yöntemlerinin varyasyonları uygulanarak KOI giderim verimleri incelenmiştir. Çalışmalar sırasında kullanılan atıksu numuneleri, farklı iki firmanın atıksu arıtma tesisi dengeleme havuzundan alınmıştır. Bu numunelerde koagülasyon-flokülasyon işlemlerinde FeCl<sub>3</sub>, alum ve polielektrolit kullanılarak uygun doz ve optimum pH çalışması yapılmıştır. Ozon oksidasyonu işlemi ise reaktör içerisine alınan numunelere 1 g/saat dozunda ozon verilmiş ve belirli zaman aralıklarıyla alınan numunelerde KOI giderim verimleri belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre koagülasyon-flokülasyon aşamasında hem zayıf hem kuvvetli atıksular için en yüksek giderim verimleri FeCl<sub>3</sub> ile elde edilmiştir. Zayıf karakterli ham atıksu numunelerinin FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtılmasında en uygun dozlar sırasıyla 550, 180, 180 mg/l ve bu dozlardaki KOI giderim verimleri sırasıyla %76, %88 ve %82 olarak bulunmuştur. Zayıf karakterli atıksularda ham atıksuyun ozonlanmasında KOI giderim verimleri üç numune için sırasıyla %44, %69 ve %34; kimyasal arıtma sonrası ozonlamada sırasıyla %13, %13 ve %17; ozonlanmış suyun kimyasal arıtılmasında ise sırasıyla %46, %46 ve %67 olarak bulunmuştur. Kuvvetli karakterli ham atıksu numunelerinin FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtılmasında en uygun doz her üç numune için de 500 mg/l ve bu dozdaki KOI giderim verimleri sırasıyla %45, %28 ve %29 olarak bulunmuştur. Kuvvetli karakterli atıksuda ham atıksuyun ozonlanmasında KOI giderim verimleri üç numune için sırasıyla %20, %23 ve %21; kimyasal arıtma sonrası ozonlama da sırasıyla %37, %27 ve %34; ozonlanmış suyun kimyasal arıtılmasında ise sırasıyla %40, %26 ve %28 olarak bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Süt endüstrisi atıksuyu, koagülasyon-flokülasyon, ozonlama

2011, 115 sayfa

## ABSTRACT

MSc. Thesis

### TREATMENT ALTERNATIVES OF DAIRY WASTEWATERS

Aslı ÇELİK

Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yalçın GÜNEŞ

In this study, COD removal efficiencies was investigated in dairy wastewaters which has two different characterization by using variations of coagulation-flocculation and ozone oxidation in laboratory. Wastewaters used in this study were taken from equalization tank of wastewater treatment plant of two different companies.  $\text{FeCl}_3$ , alum and polyelectrolyte was used in coagulation-flocculation to determine optimum dose and pH. In ozone oxidation, wastewaters were taken to ozonation reactor and ozone was given 1 g/hour dose and COD removal efficiencies were determined by taking samples in definite time intervals. According to experimental results  $\text{FeCl}_3$  was determined the most efficient coagulant in coagulation stage for weak and strong wastewaters. In coagulation-flocculation stage of weak raw wastewater samples by using  $\text{FeCl}_3$ , optimum doses were found as 550, 180, 180 mg/l and at these doses, COD removal efficiencies were found as 76%, 88% and 82% respectively. COD removal efficiencies of three weak raw wastewaters in ozonation process were found as 44%, 69% and 34% respectively; removal efficiencies of ozonation after coagulation-flocculation were 13%, 13% and 17% respectively and they were found as 46%, 46% and 67% respectively coagulation-flocculation after ozonation. In coagulation-flocculation stage of strong raw wastewater samples by using  $\text{FeCl}_3$ , optimum doses were found as 500 mg/l for three samples and at this dose COD removal efficiencies were found as 45%, 28% and 29% respectively. COD removal efficiencies of three strong raw wastewaters in ozonation process were found as 20%, 23% and 21% respectively; removal efficiencies of ozonation after coagulation-flocculation were 37%, 27% and 34% respectively and they were found as 40%, 26% and 28% respectively coagulation-flocculation after ozonation.

**Keywords:** Dairy wastewater, coagulation-flocculation, ozonation.

2011, 115 pages

## TEŞEKKÜR

Tezimin başlangıcından bitimine kadar bilgi ve önerileriyle tecrübelerinden yararlandığım, çalışmalarımı yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Yalçın GÜNEŞ ve eşi Sayın Yrd. Doç. Dr. Elçin GÜNEŞ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; başta Metin BAHAR olmak üzere bünyesinde büyük bir zevkle çalıştığım tüm 'Bahar Mühendislik' ailesine, sabrı ve bir abla gibi olan ilgisi için Şeyda DAĞDEVİREN'e, bana zamanını ayıran ve bilgisini paylaşan ev arkadaşım Arş. Gör. Suna ÇELİK'e ve desteklerinden dolayı Sayın Memiş UÇAR'a teşekkür ederim.

Ve son olarak ta bugüne kadar benden hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen ve daima yanımda olan canım aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aslı ÇELİK

Çevre Mühendisi

## İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
<b>1. GİRİŞ</b>	1
1.1. Problemin Tanımı	1
1.2. Amaç-Kapsam	1
<b>2. SÜT ve SÜT ENDÜSTRİSİ TANITIMI</b>	3
2.1. Genel Özellikler	3
2.2. Süt ve Süt Endüstrisi Üretimleri	3
2.2.1. Yoğurt üretimi	3
2.2.2. Ayran üretimi	6
2.2.3. Beyaz peynir üretimi	6
2.2.4. Kaşar peyniri üretimi	7
2.2.5. Krema üretimi	7
2.2.6. Tereyağı üretimi	11
2.2.7. Lor üretimi	12
2.3. Süt Endüstrisinin Atıksu Kaynakları	14
2.3.1. Peyniraltı suyu	15
2.3.2. Soğutma suları	16
2.4. Süt Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Karakterizasyonu	17
2.4.1. Süt atıksuyu karakterizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar	18
2.5. Süt Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Arıtılmasında Kullanılan Yöntemler	21
2.5.1. Süt endüstrisi sektöründe atıksuların arıtılması için halihazırda uygulanan yöntemler	22
2.5.2. Süt endüstrisi atıksularının arıtılması ile ilgili yapılan çalışmalar	26
<b>3. OZON OKSİDASYONU</b>	32
3.1. Ozonun Tarihçesi	32
3.2. Ozonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	33

3.3. Ozon Üretimi	34
3.3.1. Ozonun doğal olarak oluşumu	35
3.3.2. Ozonun yapay olarak üretimi	35
3.3.3. Ozonun üretilmesi	37
3.4. Ozonun Sudaki Reaksiyonları	37
3.4.1. Ozon gazının direkt reaksiyonları	38
3.4.2. Ozon gazının indirekt reaksiyonları	42
3.5. Ozonun Sudaki Kararlılığı	43
3.6. Ozonun Bozunması	45
3.7. Ozonun Su ve Atıksu Arıtımında Kullanım Amaçları	48
3.8. Ozonlama Prosesinin Avantaj ve Dezavantajları	50
3.8.1. Ozonlama prosesinin avantajları	50
3.8.2. Ozonlama prosesinin dezavantajları	51
<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM</b>	<b>53</b>
4.1. Deneysel Plan	53
4.2. Seçilen Endüstrilerin Tanımı	53
4.2.1. S.S. Dokuzhöyük Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi	53
4.2.2. Gündüzler Mandıracılık Suni Yem San. Tic. Ltd. Şti	55
4.3. Zayıf ve Kuvvetli Karakterli Atıksuların Karakterizasyonu	56
4.3.1. Kimyasal arıtma (koagülasyon-flokülasyon)	58
4.3.2. Ozonlama	61
4.3.2.1. Ozon hesaplama yöntemi	62
4.3.2.2. Giriş gaz akımında bulunan ozon gazının belirlenmesi	63
4.4. Ölçüm ve Analiz	63
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI</b>	<b>64</b>
5.1. ZN <sub>1</sub> 'in Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları	64
5.1.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları	64
5.1.2. Ozonlama sonuçları	68
5.1.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları	69
5.1.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları	71
5.2. ZN <sub>2</sub> 'in Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları	72
5.2.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları	72
5.2.2. Ozonlama sonuçları	76



5.2.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları	77
5.2.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları	78
5.3. ZN <sub>3</sub> 'ün Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları	79
5.3.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları	79
5.3.2. Ozonlama sonuçları	83
5.3.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları	84
5.3.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları	84
5.4. KN <sub>1</sub> 'in Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları	85
5.4.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları	85
5.4.2. Ozonlama sonuçları	90
5.4.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları	91
5.4.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları	92
5.5. KN <sub>2</sub> 'nin Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları	93
5.5.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları	93
5.5.2. Ozonlama sonuçları	96
5.5.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları	98
5.5.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları	99
5.6. KN <sub>3</sub> 'ün Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları	99
5.6.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları	100
5.6.2. Ozonlama sonuçları	103
5.6.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları	105
5.6.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları	106
5.7. Zayıf ve Kuvvetli Karakterli Atıksular için Toplam Giderim Verimleri	107
<b>6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b>	108
<b>7. KAYNAKLAR</b>	110
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	115

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a	Ortalama Konsantrasyon
AKM	Askıda Katı Madde
AKR	Ardışık Kesikli Reaktör
Alum	Alüminyum Sülfat
$Al_2(SO_4)_3$	Alüminyum Sülfat
BOI	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOI <sub>5</sub>	5 günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
Br <sub>2</sub>	Brom Molekülü
°C	Santigrat Derece
CaCl <sub>2</sub>	Kalsiyum Klorür
Ca(OH) <sub>2</sub>	Kireç
Cl <sub>2</sub>	Klor Molekülü
ClO <sub>2</sub>	Klordioksit
cm <sup>2</sup>	Santimetre kare
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Karbonat İyonu
CO <sub>3</sub> • <sup>-</sup>	Karbonat Radikali İyonu
-COOH	Karboksil Grubu
dk.	Dakika
EPA	ABD Çevre Koruma Ajansı
F <sub>2</sub>	Florür Atomu
Fe <sup>+2</sup>	Demir (II) İyonu
FeCl <sub>3</sub>	Demir 3 Klorür
FeSO <sub>4</sub>	Demir Sülfat
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Demir (III) Sülfat
g	Gram
g/m <sup>3</sup> .gün	Organik Yük Birimi
GAC	Granül Aktif Karbon
GRAS	Genel Olarak Güvenilebilir
H <sup>+</sup>	Hidrojen İyonu
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bikarbonat İyonu
HCO <sub>3</sub> •	Bikarbonat Radikali
HO•	Hidroksil Serbest Radikali

$\text{HO}_2^-$	Hidroperoksit İyonu
$\text{HO}_2^\bullet$	Hidroperoksit Radikali
$\text{H}_2\text{O}_2$	Hidrojen Peroksit
$\text{H}_2\text{O}_2^\bullet$	Hidrojen Peroksit Radikali
HOBr	Hipobromik Asit
HOI	Hipoiyodik Asit
HS	Hidrojen Sülfür
$\text{H}_2\text{SO}_4$	Sülfürik Asit
I	İyot İyonu
$\text{I}_2$	İyot Molekülü
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
$k_1$	Ozon Bozunmasında Başlangıç Adımı Hız Katsayısı
$k_2$	Ozon Bozunmasında Başlangıç Adımı Hız Katsayısı
$k_3$	Ozon Bozunmasında Çoğalma Adımı Hız Katsayısı
$k_4$	Ozon Bozunmasında Çoğalma Adım Hız Katsayısı
$k_5$	Ozon Bozunmasında Çoğalma Adımı Hız Katsayısı
$k_6$	Ozon Bozunmasında Çoğalma Adımı Hız Katsayısı
$k_7$	Ozon Bozunmasında Kopma Adımı Hız Katsayısı
$k_8$	Ozon Bozunmasında Kopma Adımı Hız Katsayısı
KI	Potasyum İyodur
kg	Kilogram
$\text{KN}_1$	Kuvvetli Karakterli Birinci Numune
$\text{KN}_2$	Kuvvetli Karakterli İkinci Numune
$\text{KN}_3$	Kuvvetli Karakterli Üçüncü Numune
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
$\text{KOI}_{\text{giriş}}$	Girişteki Kimyasal Oksijen İhtiyacı
$\text{KOI}_\text{ç}$	Çözünmüş Kimyasal Oksijen İhtiyacı
$\text{KOI}_{\text{çıkış}}$	Çıkıştaki Kimyasal Oksijen İhtiyacı
$\text{KOI}_T$	Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı
kWh	Kilowatt saat
kWh/kg	Spesifik Enerji İhtiyacı Birimi
kWh/lb	Spesifik Enerji İhtiyacı Birimi
l	Litre

mA	Miliamper
mA/cm <sup>2</sup>	Akım Yoğunluğu Birimi
MEB	Milli Eğitim Bakanlığı
mg	Miligram
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Permanganat İyonu
M <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup>	Hız Sabiti Birimi
N	Normalite
NaCl	Sodyum Klorür
NaOH	Sodyum Hidroksit
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sodyumtiyosülfat
NH <sub>2</sub>	Amin
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Amonyum Azotu
-NO <sub>2</sub>	Azot Di Oksit İyonu
NTU	Bulanıklık Birimi
O	Oksijen Atomu
O <sub>2</sub>	Oksijen Molekülü
O <sub>2</sub> • <sup>-</sup>	Süperoksit Radikali İyonu
O <sub>3</sub>	Ozon Molekülü
O <sub>3</sub> • <sup>-</sup>	Ozonide Radikali İyonu
OH <sup>-</sup>	Hidroksil İyonu
Ort.	Ortalama
pk <sub>a</sub>	Asit/Baz Denge Sabiti
PO <sub>4</sub> -P	Fosfat
ppm	Milyonda Bir Birim
rpm	Dakikada Karıştırma Hızı
SVI	Çamur Hacim İndeksi
T	Sıcaklık
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde
TFC-HR	Reverse Osmoz Membran
TFC-S	Nanofiltrasyon Membran
THM	Trihalometan
TiO <sub>2</sub>	Titanyum Dioksit
TKM	Toplam Katı Madde

TKN	Toplam Khendal Azotu
TOC	Toplam Organik Karbon
Toplam P	Toplam Fosfor
Toplam N	Toplam Azot
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UKM	Uçucu Katı Madde
ZN <sub>1</sub>	Zayıf Karakterli Birinci Numune
ZN <sub>2</sub>	Zayıf Karakterli İkinci Numune
ZN <sub>3</sub>	Zayıf Karakterli Üçüncü Numune

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Homojenize edilmiş ve edilmemiş sütlerdeki yağ globüllerinin dağılımı	4
Şekil 2.2. Yoğurt üretimi iş akım şeması	5
Şekil 2.3. Ayran üretimi iş akım şeması	8
Şekil 2.4. Beyaz peynir üretimi iş akım şeması	9
Şekil 2.5. Kaşar peyniri üretimi iş akım şeması	10
Şekil 2.6. Krema üretimi iş akım şeması	11
Şekil 2.7. Tereyağı üretimi iş akım şeması	13
Şekil 2.8. Lor üretimi iş akım şeması	14
Şekil 3.1. Ozon molekülünün yapısı	33
Şekil 3.2. Corona deşarj yönteminin şematik gösterimi	36
Şekil 3.3. Ozon prosesinin şematik diyagramı	37
Şekil 3.4. Ozonlama esnasında substratların oksidasyon yolları	38
Şekil 3.5. Doymamış bağlarda dipolar halka eklenmesi	39
Şekil 3.6. Ozonide yapısının parçalanması	39
Şekil 3.7. Aromatik bileşikler ile ozonun elektrofilik reaksiyonu	40
Şekil 3.8. Aromatik bileşiklerin ozonlama sistemine uygunluğu	40
Şekil 3.9. Ozonun bozunma zinciri	42
Şekil 3.10. Ozonun bozunmasına pH'ın etkisi (T= 15°C)	47
Şekil 4.1. Deneysel plan	53
Şekil 4.2. S.S. Dokuzhöyük Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi'ne ait mandıranın dışarıdan bir görünüşü	54
Şekil 4.3. Gündüzler Mandıracılık fabrikasının dışarıdan bir görünüşü	55
Şekil 4.4. Numunelerin hızlı ve yavaş karıştırma anı	59
Şekil 4.5. Numunelerin çökme için bekleme anı	59
Şekil 4.6. Numunelerin FeCl <sub>3</sub> ile çökme sonrası durumları	60
Şekil 4.7. Laboratuvar ölçekli ozonlama sisteminin bir görünüşü	61
Şekil 5.1. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	65
Şekil 5.2. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	66
Şekil 5.3. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	67
Şekil 5.4. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	68
Şekil 5.5. Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	69
Şekil 5.6. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	70

Şekil 5.7. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	72
Şekil 5.8. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	73
Şekil 5.9. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	74
Şekil 5.10. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	75
Şekil 5.11. Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	76
Şekil 5.12. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	78
Şekil 5.13. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI verimleri	79
Şekil 5.14. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	80
Şekil 5.15. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI verimleri	81
Şekil 5.16. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri	82
Şekil 5.17. Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	83
Şekil 5.18. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	85
Şekil 5.19. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI verimleri	86
Şekil 5.20. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI verimleri	87
Şekil 5.21. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	88
Şekil 5.22. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	89
Şekil 5.23. Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	91
Şekil 5.24. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	92
Şekil 5.25. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	93
Şekil 5.26. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	94
Şekil 5.27. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	95
Şekil 5.28. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	96
Şekil 5.29. Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	97
Şekil 5.30. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	99
Şekil 5.31. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	100
Şekil 5.32. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	101
Şekil 5.33. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	102
Şekil 5.34. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği	103
Şekil 5.35. Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri	104
Şekil 5.36. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrasında uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimliliği	106

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Süt üretimi proses profili	15
Çizelge 2.2. Süt ve süt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu	19
Çizelge 2.3. Farklı süt üretim prosesleri sonucu oluşan atıksu karakterizasyon çalışmaları	20
Çizelge 2.4. Süt endüstrisi ham atıksularının karakterizasyon çalışmaları	21
Çizelge 3.1. Ozon gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri	34
Çizelge 3.2. Su ve atıksu arıtımında bazı oksidantların oksidasyon potansiyelleri	41
Çizelge 3.3. Stahelin, Hoigne ve Bühler'e göre saf suda ozonun bozunma mekanizması	44
Çizelge 3.4. Tomiyasu, Fukutomi ve Gordon'a göre alkali ortamda saf suda ozonun bozunma mekanizması	45
Çizelge 3.5. Ozonun farklı sıcaklıklarda gaz ve sudaki yarılanma ömrü	46
Çizelge 3.6. Ozonun su, atıksu ve diğer alanlarda kullanım amaçları	49
Çizelge 4.1. Kullanılan hammaddeler ve yıllık kullanım miktarları	54
Çizelge 4.2. Üretilen ürünler ve yıllık kullanım miktarları	55
Çizelge 4.3. Kullanılan hammaddeler ve yıllık kullanım miktarları	56
Çizelge 4.4. Üretilen ürünler ve yıllık kullanım miktarları	56
Çizelge 4.5. Zayıf ve kuvvetli karakterdeki atıksuların karakterizasyonu	56
Çizelge 4.6. Zayıf ve kuvvetli karakterli atıksuya uygulanan arıtma alternatifleri ve notasyonları	57
Çizelge 5.1. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	64
Çizelge 5.2. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	65
Çizelge 5.3. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	66
Çizelge 5.4. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	67
Çizelge 5.5. Ham atıksuyun ozonlanması verileri	68
Çizelge 5.6. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri	70
Çizelge 5.7. Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri	71
Çizelge 5.8. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	72
Çizelge 5.9. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	73
Çizelge 5.10. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	74
Çizelge 5.11. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	75
Çizelge 5.12. Ham atıksuyun ozonlanması verileri	76
Çizelge 5.13. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri	77
Çizelge 5.14. Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri	78



Çizelge 5.15. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	79
Çizelge 5.16. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	80
Çizelge 5.17. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	81
Çizelge 5.18. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	82
Çizelge 5.19. Ham atıksuyun ozonlanması verileri	83
Çizelge 5.20. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri	84
Çizelge 5.21. Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri	85
Çizelge 5.22. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	86
Çizelge 5.23. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	87
Çizelge 5.24. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	88
Çizelge 5.25. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	89
Çizelge 5.26. Ham atıksuyun ozonlanması verileri	90
Çizelge 5.27. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri	91
Çizelge 5.28. Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri	92
Çizelge 5.29. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	93
Çizelge 5.30. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	94
Çizelge 5.31. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	95
Çizelge 5.32. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	96
Çizelge 5.33. Ham atıksuyun ozonlanması verileri	97
Çizelge 5.34. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri	98
Çizelge 5.35. Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri	99
Çizelge 5.36. FeCl <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	100
Çizelge 5.37. FeCl <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	101
Çizelge 5.38. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum pH çalışması	102
Çizelge 5.39. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile optimum doz çalışması	103
Çizelge 5.40. Ham atıksuyun ozonlanması verileri	104
Çizelge 5.41. FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri	105
Çizelge 5.42. Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri	106
Çizelge 5.43. Zayıf ve kuvvetli karakterli atıksular için toplam giderim verimleri	107

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Problemin Tanımı

Ülkemizde, hızlı nüfus artışına bağlı olarak ortaya çıkan süt ve süt ürünleri ihtiyacının karşılanması için küçük ve orta ölçekli birçok mandıra kurulmuştur. İşletme sayısına bağlı olarak, süt ve peynir gibi gıdaların üretiminin artmasıyla beraber bu tesislerden kaynaklanan çevre kirliliği ve özellikle de su kirlenmesi riski artmıştır.

Süt ve süt ürünlerinin işlenmesinden ortaya çıkan atıksular; içerdiği aminosit, protein, karbonhidrat ve yağlara bağlı olarak yüksek oranda KOI, yağ-gres, azot ve fosfor içerebilmektedir. Tesislerde kullanılan teknolojiye bağlı olarak bazı endüstrilerde yüksek oranda organik kirlilik meydana gelirken bazı endüstrilerde de daha düşük düzeylerde organik kirlilik meydana gelebilmektedir. Özellikle peyniraltı suyunu çeşitli yöntemlerle geri kazanan firmalarda arıtma tesisine gelen organik yük ciddi oranda azalmaktadır.

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları arıtımında tesiste kullanılan teknolojiye çok fazla bakılmaksızın koagülasyon-flokülasyon ve biyolojik arıtma üniteleri tercih edilmektedir. Bu arıtma aşamalarında debiye de bağlı olarak ciddi miktarlarda çamur ortaya çıkabilmektedir. Bu çamurlar genellikle toplam organik karbon parametresinden dolayı tehlikeli atık niteliğindedir.

Süt ve süt endüstrisi atıksularının, karakterizasyonlarına bağlı olarak daha az çamur çıkaran ve ekonomik yöntemlerle arıtılmaları çevre sağlığı açısından bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

## 1.2. Amaç - Kapsam

Bu çalışmanın amacı; farklı iki süt endüstrisi tesisinden alınan ve birisi kuvvetli diğeri nispeten zayıf atıksu karakteri gösteren numunelerin, koagülasyon-flokülasyon ve ozon oksidasyonu ile arıtılabilirliklerinin incelenmesidir.

Seçilmiş olan zayıf ve kuvvetli karakterli atıksulara sahip her iki firmanın da bünyesinde atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Mevcut olan atıksu arıtma tesisleri fiziksel + kimyasal ve biyolojik (ardışık kesikli reaktör) arıtma ünitelerinden oluşmaktadır. Debiye bağlı olarak biyolojik arıtmanın çok fazla alana ihtiyacı olması ve artan çamur miktarı gibi

dezavantajlarından dolayı alternatif arıtma yöntemlerinin incelenmesi bu çalışmanın başlıca amaçları arasındadır.

Bu amaç çerçevesinde yapılan bu çalışmada;

- Süt ve süt ürünleri endüstrisi hakkında ve bu endüstrilerden kaynaklanan atıksular hakkında bilgiler verilmiş,
- Deneysel bir düzenek kurularak iki farklı tesisten farklı zamanlarda atıksu numuneleri alınmış,
- Alınan atıksulara, koagülasyon-flokülasyon, ozon oksidasyonu ve bu işlemlerin varyasyonları kullanılarak arıtılabilirlik çalışması yapılmış,
- Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## **2. SÜT ve SÜT ENDÜSTRİSİ TANITIMI**

### **2.1. Genel Özellikler**

Günümüzde, Trakya Bölgesi, Kırklareli İli çevresinde, sayıları çok az olan entegre süt işleme tesisleri hariç tutulursa, beyaz peynir üretiminin önemli bir bölümü, mandıra olarak adlandırılan mevsimlik veya sürekli çalışan küçük işletmelerde gerçekleştirilmektedir (Uçar 1999). Süt tesislerinde üretim mevsimsel olarak değişiklikler göstermektedir. Genellikle mandıralar diye adlandırılan küçük işletmelerde Mayıs – Eylül ayları arasında üretim olmakta ve buna bağlı olarak ta geri kalan aylarda ise üretilen ürünlerin satışları yapılmaktadır. Mevsimsel değişiklik gösteren işletmelerin atıksu hacimleri ve karakteristikleri de değişiklik gösterir. Süt işleme tesislerinde, süt taşıma araçlarının temizlenmesi, süt taşıma kazanlarının yıkanması, üretimin gerçekleştiği üretim ekipmanlarının temizlenmesi, üretimin yapıldığı tank gibi malzemelerin yıkanması ve personel hataları sonucunda kirlilik içeriği çok yüksek atıksular oluşmaktadır. Bu atıksuların alıcı ortamlarda kirliliğe sebep olmamaları için arıtılarak kirlilik yüklerinin azaltılması gereklidir. Arıtma tesislerinin en uygun maliyetle işletilebilmesi için peyniraltı suyunun diğer kirletici unsurlardan (tank yıkama, yer yıkama suları gibi) ayrılması gerekir. Çünkü peyniraltı suyu 60.000–80.000 mg/l arasında değişen KOI değerleri içermektedir (Kavacık ve Topaloğlu 2007). Dolayısıyla peyniraltı suyunun kirleticilik özelliği çok yüksektir. Ülkemizde yılda 40.000 ton peynir üretiminin bulunduğu göz önünde bulundurulursa yaklaşık 360.000 ton peyniraltı suyu oluşmaktadır. Peyniraltı suyunun geri kazanılması, ekonomik bir değer yarattığı gibi arıtma tesisine gelen organik yükün de ciddi şekilde azalmasını sağlamaktadır.

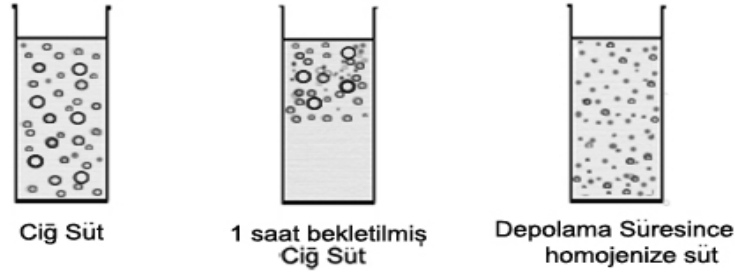
### **2.2. Süt ve Süt Endüstrisi Üretimleri**

Süt endüstrisinde, ham süttten üretilen ürünler çok çeşitlidir. Türkiye’de çoğunlukla uygulanan bazı üretim prosesleri; yoğurt, ayran, beyaz peynir, kaşar peyniri, krema, tereyağı ve lor peyniridir.

#### **2.2.1. Yoğurt üretimi**

Süt toplama merkezlerinden tankerler ile toplanıp getirilen çiğ sütler öncelikle kalite kontrol merkezinden geçer. Tesise getirilen sütlere analiz yapılarak analiz sonucunun uygun olup olmamasına göre yoğurt üretimine karar verilir. Analiz sonucunun uygun çıkması sonucunda çiğ sütlerin miktarı kaydedilir ve klarifikasyon işlemine geçilir. Klarifikasyon işlemi yani

sütün temizlenmesi iki aşamada yapılmaktadır. Birinci aşamada; sütün içerisinde gözle görülebilen kıl, çöp gibi maddeler ayrılır. İkinci aşamada ise gözle görülemeyen kan, lökosit, hücre parçaları sütün ayrılır (Anonim 2009d). Klarifikasyon işleminden sonra homojenizasyon işleminin uygulanabilmesi için çiğ sütlere 90°C’de 15 dakika süreyle ısıtma işlemi uygulanır ve vakum yolu ile sütün, suyunun ayrılması sağlanır. Daha sonra katı madde kontrolünde, yoğurt için önemli olan ürün kıvamı kontrol edilir. Katı madde kontrolü uygun ise, 180 bar basınçta homojenizasyon işlemi uygulanır.



**Şekil 2.1.** Homojenize edilmiş ve edilmemiş sütlerdeki yağ globüllerinin dağılımı

Homojenizasyon işlemi, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi sütün yağının yüzeyde toplanmasını engellemek için sütün yağının fiziksel olarak parçalanmasıdır (MEB 2007). Bu işlem, mekanik etki altında öncelikle büyük yağ globüllerinin parçalanması, sonrasında sütün içerisinde emülsiyon halindeki yağ globüllerinin yoğunluk farkı nedeni ile yüzeye çıkması ve bir araya gelerek kümelenmesidir. Böylece sütün yüzeyinde kaymak bağlama olayı engellenmiş olur (Anonim 2009a). Bu işlem sonucunda fiziksel ve biyokimyasal değişiklikler meydana gelir. Bunlar, ürünün viskozitesinin artması ve yağ globüllerinin sayısının artmasıdır. Sayıları artan yağ globüllerinin, güneş ışığını yansıtma kapasitelerinin artmasından dolayı ürün daha beyaz bir görünüme sahip olur (MEB 2007). Ayrıca homojenizasyon işlemi ile sütteki yağ globüllerinin yoğurda eşit bir şekilde dağılımı sağlanır. Homojenizasyon işlemi, yoğurdun kıvamını artırır ve su salmasını önler. Yoğurdun tadını iyileştirerek midede kolay hazmedilmesini de sağlar (Anonim 2008).

Isıl (pastörizasyon) işleminden sonra pastörize sütün yoğurt olabilmesi için gerekli olan faydalı mikroorganizmaların faaliyet gösterdikleri 47°C’ye sıcaklığa kadar sütün soğutulması gerekmektedir. Bu işlem çoğunlukla eşanjör adı verilen ekipmanlarda gerçekleştirilir. Bu ekipmanlar ile soğutma işlemi genellikle iç içe borular içerisinde geçen sıcak sütün soğuk sütün çarpıştırılması yoluyla yapılmaktadır. Soğutma işlemi tamamlanan sütün mayalanarak

yoğurt kaplarına doldurulur ve mayalama işlemi tamamlanan sütler 43°C’de 2-3 saat boyunca inkübasyona bırakılır. İnkübasyon işlemi; yoğurt oluşumunu sağlayan faydalı bakteriler için sıcaklık ve süre gibi uygun ortam şartlarının sağlandığı bölümdür. İnkübasyon işleminden sonra yapılan pH kontrolü sırasında yoğurdun pH’ı 4,75–4,80 mertebelerinde olunca, yoğurt 5-10°C’de en az 6 saat bekletilerek yoğurt kaplarının kapakları kapatılır. Ambalaj ve kapaklardaki son kontrol işlemi de uygun bulunduktan sonra sevkiyat işlemi gerçekleştirilir. Yoğurt üretimi iş akım şeması Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Yoğurt üretimi iş akım şeması

### **2.2.2. Ayran üretimi**

Süt toplama merkezlerinden tankerler ile toplanıp getirilen çiğ sütler önce kalite kontrol departmanından geçer. İşletmeye gelen süttten numune alınarak yağ, kuru madde, asitlik, antibiyotik analizi yapılarak miktar kaydedilir ve çiğ sütlere klarifikasyon işlemi uygulanır. Bu işlemin amacı, süttten lökositleri, hücre ve epitel parçalarını, kir maddelerini uzaklaştırmaktır. Bu işlem, klarifikatör adı verilen santrifüjlü temizleme separatörlerinde ve standart süt separatörlerinde yapılır. Klarifikasyon işlemi sonucunda süte su ilavesi yapılarak kuru madde kontrolü gerçekleştirilir. Kuru madde yeterli değil ise süt ilavesi yapılır. Kuru madde miktarı yeterli ise 60°C'de 5 dakika ön ısıl işlem uygulanır. Ön ısıl işlemin ardından pH kontrolü yapılan ve 180 bar basınçlı kabın içerisinde olan süt, homojenizasyon işlemine tabi tutulur. Bu işlemden sonra 90°C'de 15 dakika daha da ısıl işlem uygulanır ve ardından sıcaklık 47°C'ye kadar düşürülerek bu aşamada kültür ilavesi yapılır. Kültür ilavesi yapılan süt, 46-47°C'de 4 saat boyunca inkübasyona tabi tutulur ve tekrar pH kontrolü yapılır. pH'ın 4,55-4,60 seviyelerinde uygun çıkması durumunda pıhtı kırım işlemi gerçekleştirilir ve işlem sonrasında tuz ilavesi ile birlikte karıştırma işlemi yapılır. Karıştırma işlemi tamamlanan ayranlar, 20°C'e kadar soğutulur ve ayran ambalaj kaplarına doldurulurlar. Ambalaj kontrolü gerçekleştirilen ambalaj kapları soğuk odada dinlendirilir ve son kontrol işleminden sonra da ürünün sevkiyatı gerçekleştirilir. Ayran üretimi ile ilgili iş akım şeması Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

### **2.2.3. Beyaz peynir üretimi**

Bir çok peynir türü, bölgeden bölgeye, kültürlere, tüketim alışkanlıklarına, kimyasal bileşime, dokuya, lezzete, aroma ve raf ömrüne göre çeşitlilik gösterir (Rosenthal 1991).

Tanker gibi taşıma yolları ile işletmeye gelen çiğ sütler, depo tanklarında toplanır ve çiğ süttten numune alınarak yağ, kuru madde, asitlik, antibiyotik analizleri yapılır. Analizlerin peynir yapımı için uygun çıkması durumunda süttün miktarı kaydedilir. Miktarı kaydedilen çiğ süt süzülüp soğutulur önce çiğ süt depo tankına sonrasında da pastörizatör tankına alınır. Bu tankta sütler, 66°C'de 30 dakika kaynatılarak pastörize edilir. Pastörize edilmiş süt, soğutma tanklarından geçirilerek 30-35°C sıcaklığına getirilip 90 dakikalık mayalama işlemine tabi tutulur. Mayalanmış süttün pıhtılaşması esnasında asitlik kontrolü yapılarak uygun olup olmadığına karar verilmelidir. Süt pıhtılaştıktan sonra pıhtı kırımı, kitle bıçaklar yardımıyla yapılır. Pıhtı cendere bezine boşaltılarak peyniraltı suyundan ayrılması sağlanır ve tekrar

asitlik kontrolü yapılarak peynire presleme yapılır ve peynirler kalıp halinde kesilir. Kalıp halinde kesilen peynirler salamura tanklarına alınır ve bu tanklarda bir gece bekletildikten sonra olgunlaşma kontrolü yapılarak tenekelere yerleştirilir. Son olarak tenekelere tamamlama salamurası ilave edilerek tenekelerin kapakları kapatılır. Buz deposuna alınan ürünlerin kapak kontrolü yapılır. Buz deposunda en az 3 ay bekletilerek olgunlaştırılan peynirin üretim süreci tamamlanmış olur. Üretim süreci tamamlanmış olan peynirler son kontrol işleminden de geçirilerek sevk edilir. Beyaz peynir üretimi ile ilgili iş akım şeması Şekil 2.4'te verilmiştir.

#### **2.2.4. Kaşar peyniri üretimi**

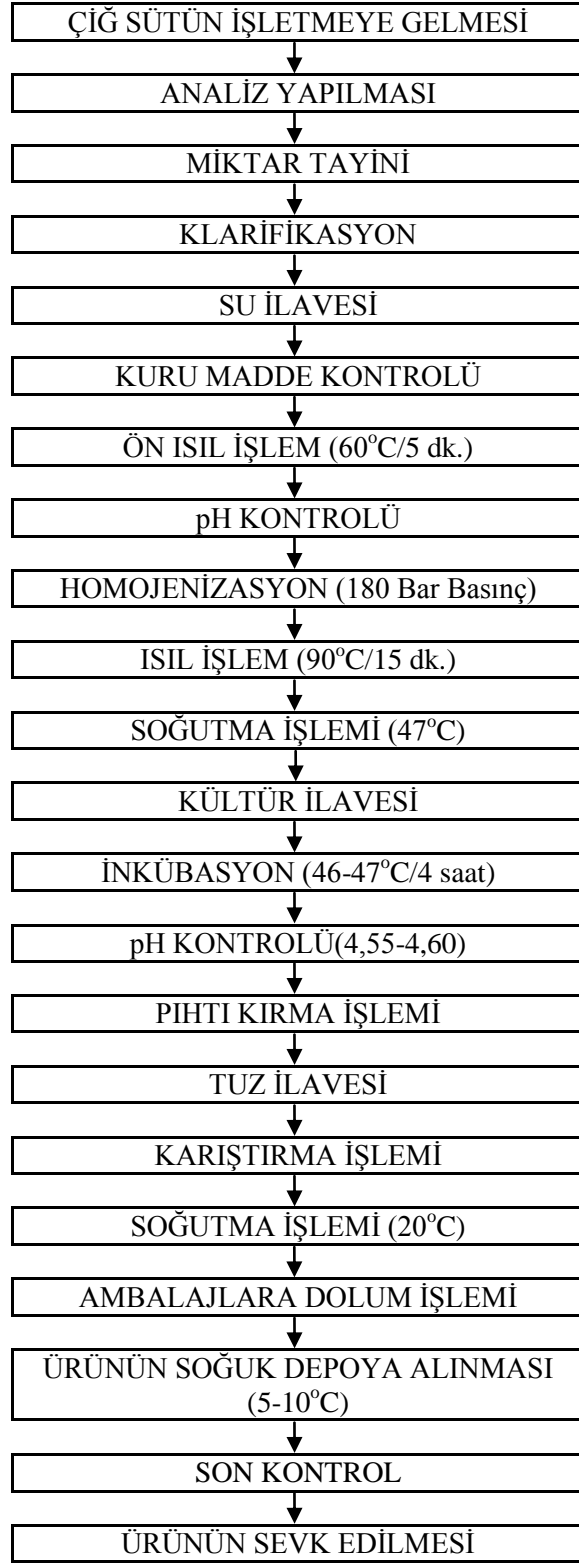
Süt toplama merkezlerinden tankerler ile toplanıp getirilen çiğ sütler öncelikle kalite kontrol merkezinden geçer. Sırasıyla yağ, kuru madde, asitlik ve antibiyotik analizi yapılarak miktarı kaydedilir. Miktar kaydı işleminden sonra çiğ sütlere klarifikasyon işlemi uygulanır. Klarifikasyon işleminden çıkan sütler, 50–60°C'de ısıtılır ve pH kontrolü (6,40-6,50) yapılır. pH uygun ise süt mayalama sıcaklığına (33-35°C) indirgenir ve bu aşamada yapılan maya ilavesinden bir süre sonra teleme kırma işlemi gerçekleşir ve ardından ısıtma işlemi yapılarak sıcaklık 37-38°C'ye yükseltilir. Isıtma işleminin sonrasında 45-50 dakika kadar telemenin ön olgunlaştırılması işlemi gerçekleştirilir. Telemenin suyu ayrılıp baskıya alınarak porsiyonlama yapılır. Porsiyonlama da pH kontrolü (5,00-5,10) yapılması gerekir ve pH 5,00-5,10 arasında ise haşlama işlemine geçilir. Haşlama işlemi sırasında haşlama suyuna 4 bome olacak şekilde tuz ilave edilir. Haşlama işlemi tamamlanan peynirler kalıplara alınır. Peynirler kalıptan çıktıktan sonra, 4°C'de iki gün boyunca ön olgunlaştırmaya tabi tutulurlar. Ön olgunlaştırma tamamlandıktan sonra kaşar peynirler paketlenir ve soğuk hava deposuna alınırlar. Son kontrolden sonra da satışa sunulurlar. Şekil 2.6'da kaşar peyniri üretimi iş akım şeması gösterilmiştir.

#### **2.2.5. Krema üretimi**

Süt toplama merkezlerinden tankerler ile toplanıp getirilen çiğ sütler önce kalite kontrol merkezinden geçer. İşletmeye gelen süttten numune alınarak yağ, kuru madde, asitlik, antibiyotik analizi yapılarak miktarı kaydedilir. Miktar analizi yapılan çiğ süte pastörizasyon işlemi uygulanır. Pastörize edilmiş süt, soğutma sistemlerinden geçirilerek sıcaklığı 30-36°C'ye getirilerek mayalama işlemi gerçekleştirilir. Mayalama işlemi ile oluşan sütteki pıhtılaşmaya pıhtı kırma işlemi yapılarak peyniraltı suyu ayrılır. Ayrılan peyniraltı suyu krema seperatörüne çekilir. Krema ayırıştırıcısından (seperatör) ayrılan krema, ambalajlanıp



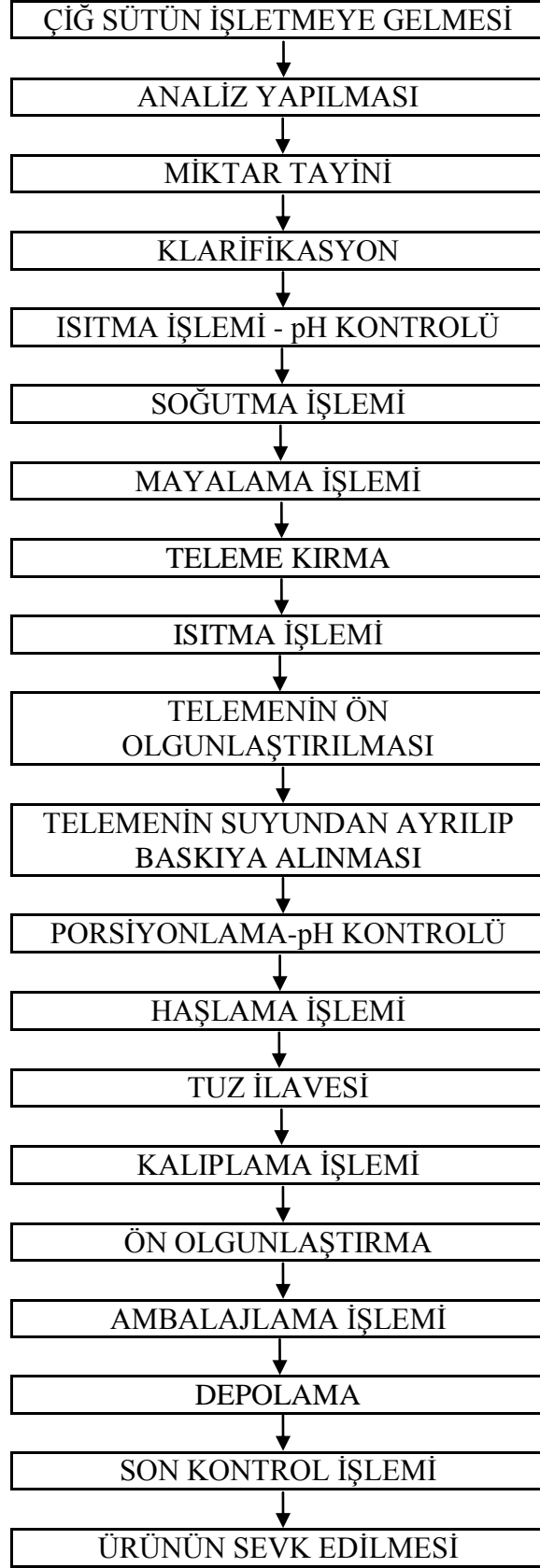
etiketlendikten sonra depolanır ve son kontrol işleminden sonra da piyasaya sunumu gerçekleştirilir. Şekil 2.5'te krema üretimi iş akım şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Ayran üretimi iş akım şeması



Şekil 2.4. Beyaz peynir üretimi iş akım şeması



Şekil 2.5. Kaşar peynir üretimi iş akım şeması



**Şekil 2.6.** Krema üretimi iş akım şeması

### 2.2.6. Tereyağı üretimi

Genelde tereyağı üretimi yağ zerreciklerinin yumuşak bir katı madde oluşturması amacı ile tatlı kremanın yayıklanması ile yapılır. Tereyağı üretim prosesi birkaç adımdan oluşmaktadır. Bu üretim prosesleri arasında en önemlisi ise, kremanın tereyağına dönüştüğü yayıklama prosesidir (Ekdal 2000).

Literatür bilgilerinden de görüldüğü gibi, krema tek başına mutfaklarımıza misafir olabileceği gibi tereyağı üretiminde de kullanılabilir.

Kremadan tereyağı üretimindeki ilk proses, sütün üzerindeki kremanın çekilmesi ve kremanın kovalara alınarak bir hafta soğuk hava deposunda bekletilmesidir. Bu süre sonunda kremanın tartımı yapılır ve tereyağı (yayık) makinesine boşaltımı yapılarak, kremanın iyice sıkılaşması için, kremanın üzerine su ilave edilir. Böylece yayığın hareketi ile yağ daneleri birbirleriyle birleşir.

Yayıklama işlemi bittikten sonra, yayıkaltı suyu tamamen yayıktan boşaltılır. Krema yayıktan çıkarılmadan bir süre süzmeye bırakılır. Süzildükten sonra çıkan yayıkaltı suyu kadar soğuk su, yayığa konur ve yayık, düşük bir hızla 4-5 kez döndürülür. Tekrar süzölmeye bırakılarak ikinci yıkama işlemi gerçekleştirilir. Yıkama suyunun sıcaklığı tereyağının kıvamına bağılı olarak değışebilir. Yağ sert ise yıkama suyu sıcaklığı yayıkaltı sıcaklığından 1–2°C fazla, yumuşak ise 1–2°C aşağıda olmalıdır. Daha sonra 3. kez aynı yıkama işlemi gerçekleştirilir.

Yıkama suyunun kalitesi iyi ve sertliğı normal olmalıdır. Yıkamadaki amaç; yağ danelerinin etrafında toplanan yayıkaltıdan, kötü tat ve kokuları uzaklaştırmak ve tereyağının dayanıklılığını artırmaktır. Bu nedenle yıkama bir veya birkaç kez yapılabilir (Anonim 2009b).

Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra tereyağının malaksör denilen makinede karıştırılması ve yoğrulması suretiyle suyu ve kıvamı ayarlanır. Bu işlemde sonra gramajı ayarlanır ve tereyağının istenilen kıvamda olup olmadığına karar verilir. Tereyağının uygun olduğuna karar verildikten sonra soğuk odaya alınarak sevkiyatı gerçekleştirilir.

Kremadan yararlanmak suretiyle yapılan tereyağı üretiminde de yan ürün olarak “yayık altı suyu” oluşur. Bu ürünün de aynı peyniraltı suyu gibi arıtılması çok zordur. Dolayısıyla, bu ürünün arıtılmasının yerine insan gıdası veya hayvan yemi şeklinde değerlendirilmesi mümkündür (Orhon ve Artan 1984). Tereyağı üretimi iş akım şeması, Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

### **2.2.7. Lor üretimi**

Beyaz peynir, kaşar peyniri gibi peynir üretimleri sonrasında oluşan peyniraltı suyu, lor üretimi için lor kazanına alınır. Kazandaki peyniraltı suyuna 85°C’de buharla ısıtma işlemi uygulanır ve bu işlemde sonra tuz ve kalsiyum ilavesi yapılır, sonrasında da 100°C’de tekrar buharla ısıtma işlemi uygulanır. Kaynatma sonunda çöken lor biraz soğuduktan sonra cendere bezlerine konur ve baskıya alınarak bir gün boyunca süzölmeye bırakılır. Lor taze olarak tüketime sunulmak istenirse tuzlanmamaktadır. Fakat depolanmak istenirse tuzlanması uygun olduğu için tuzlanmaktadır. Son kontrolü uygun çıkan lor peynirleri ambalajlanır, tartımı yapılarak soğuk odaya alınır ve sevkiyatı gerçekleştirilir.

Lor yapımında peynirin tadını geliştirmek için kalsiyum klorür (CaCl<sub>2</sub>) ve sodyum klorür (NaCl) kullanılır. NaCl, 70-75°C’de ve % 0,1-1,5 oranında uygulanır. CaCl<sub>2</sub> ilavesinde peynir

suyu proteinlerinin denatüre (proteinlerin doğal yapısının değiştirilmesi) olma derecesi düşerken, NaCl ilavesinde ise artmaktadır. Lor üretimi iş akım şeması Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Tereyağı üretimi iş akım şeması



**Şekil 2.8.** Lor üretimi iş akım şeması

### 2.3. Süt Endüstrisinin Atıksu Kaynakları

Günümüzde halen süt endüstrisi işletmelerinden çıkan atıksuların hacminin % 60-90'ını soğutma suyu oluşturmaktadır. Geriye kalan kısım ise yıkama suları ve diğer proseslerden kaynaklanan atıksulardır (Kılıç 2006).

Ancak çoğu işletme, proseslerinde sütü soğutmak için eşanjörlü sistemlerden yararlanmaktadır. Eşanjörlü sistemlerin iç içe geçmiş boruları sayesinde soğuk süt ile sıcak sütü çarpıştırarak soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Böylece soğutma suyu kullanılmadığı için kirlilik te azaltılmaktadır.

Demirel ve ark. (2005) yaptıkları çalışma sonucunda ise, süt endüstrisinde ortaya çıkan en büyük atıksu hacminin, nakliye araçlarının temizliği, üretim ekipmanları arasındaki döngü, tank vagonlarının temizliği, süt silolarının yıkanması, ekipmanların bozulması ve operatör hatalarından meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Tünay (1996) tarafından bir tesiste yapılan çalışma sonucunda Çizelge 2.1’de ki değerler elde edilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Süt üretimi proses profili

Kaynaklar	Su Kullanımı				Atıksu Oluşumu			
	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama	Aralık	Ortalama
	(m <sup>3</sup> /gün)	(m <sup>3</sup> /gün)	(m <sup>3</sup> /ton süt)	(m <sup>3</sup> /ton süt)	(m <sup>3</sup> /gün)	(m <sup>3</sup> /gün)	(m <sup>3</sup> /ton süt)	(m <sup>3</sup> /ton süt)
Tanker Boşaltma	0,9-1,3	1,2	0,09-0,13	0,12	0,95-1,4	1,25	0,095-0,14	0,125
Berraklaştırma	0,1-0,18	0,15	0,01-0,018	0,015	0,1-0,18	0,15	0,01-0,018	0,015
Standartlaştırma								
Harmanlama								
Depolama	0,6-1,0	0,8	0,06-0,10	0,08	0,6-1,0	0,8	0,06-0,1	0,08
Toplam	1,6-2,48	2,15	0,16-0,248	0,215	1,65-2,58	2,2	0,165-0,258	0,22
Pastörizasyon	2,8-3,20	3	0,28-0,320	0,3	2,8-3,2	3	0,28-0,32	0,3
Depolama	0,8-1,3	1	0,08-0,13	0,1	0,8-1,3	1	0,08-0,13	0,1
Doldurma	0,4-0,6	0,5	0,04-0,06	0,05	0,4-0,6	0,5	0,04-0,06	0,05
Toplam	4,0-5,1	4,5	0,4-0,51	0,45	4,0-5,1	4,5	0,40-0,51	0,45

Kirlilik potansiyeli yüksek başlıca atıksu kaynakları, peyniraltı suyu ve soğutma sularıdır. Basit arıtma yöntemleri ile arıtılması güç olan atıksulardır.

### 2.3.1. Peyniraltı suyu

Peyniraltı suyu, ülkemizde yıllardır bir atık olarak değerlendirilmiş ve büyük bir çevre kirliliğine sebep olmuştur. Ancak peyniraltı suyu bir başka endüstri tarafından hammadde



olarak kullanılabilirdiğinden ve arıtılması yüksek maliyet getirdiğinden dolayı artık biriktirilerek peyniraltı suyunu toplayan firmalara verilmektedir.

Peyniraltı suyu; beyaz peynir, kaşar peyniri gibi peynir üretimleri sırasında pıhtının parçalanması ve baskıya alınması süreçlerinde oluşur.

Peyniraltı suyu, peynir tankından boşaltıldığında küçük pıhtıları ve az miktarda da süt yağını birlikte götürür. Bu iki madde kolayca ayrılıp yeniden ürüne katılabilir. Peyniraltı suyu yüksek oranda şeker içerdiğinden dolayı mikroorganizmalar için uygun bir büyüme ortamı yaratır. Eğer peyniraltı suyu, alıcı ortama deşarj edilmeye devam ederse doğal su ortamlarında biyokütle oluşumunu hızlandırır, bu da çözünmüş oksijen miktarının hızla azalmasına neden olarak ekolojik denge üzerinde olumsuz etki yaratır. Ekolojik olarak peyniraltı suyu yüksek BOI'ye sahip olarak kabul edilir (Ekdal 2000).

Peyniraltı suyunun ticari olarak geri kazanılması ekonomik açıdan önemlidir. Peyniraltı suyundan, peyniraltı suyu tozu elde edilmektedir.

Küçük işletmeler peyniraltı suyunu kaynatarak "lor" adı verilen bir ürün elde etmektedirler. Ancak bu noktada yine çevre kirliliği anlamında sorun çözümlenememektedir. Çünkü peyniraltı suyundaki %5,5-6,6 oranındaki katı maddenin ancak %1,5'u lor olarak alınmakta geri kalan katı madde yine atıksu oluşturmaktadır. Dolayısıyla kirletici etkisi giderilememektedir. Oysa "toz haline getirme" işleminde su tamamen uçurulduğu için herhangi bir atıksu oluşmamakta ve bu durum çevre kirliliğinin önlenmesi açısından önem taşımaktadır. Bu açıdan bakıldığında toz haline getirilerek bu önemli atığın farklı endüstrilerde değerlendirilmesi çok daha akılcı bir çözüm olmaktadır (Anonim 2006).

Peyniraltı suyu tozu, şekerlemeler, unlu mamuller, bebek mamaları, et ürünleri, çorbalar, soslar, içecekler gibi ürünlerde dolgu malzemesi olarak ve buzağı maması gibi süt yerine geçen yemlerde de kullanılmaktadır. Ayrıca özel olarak işlenen peyniraltı suyu, çikolata ve dondurma üretiminde de kullanılmaktadır (Anonim 2011).

### **2.3.2. Soğutma suları**

Pastörize edilen sütün, yoğurt ve peynir oluşumunu sağlayacak mikroorganizmaların faaliyet gösterdikleri sıcaklığa kadar soğutulması için soğutma sularından faydalanılır.

Soğutma suları; temaslı ve temassız soğutma suları olmak üzere ikiye ayrılır. Çiğ sütler, pastörize edildikten sonra mayalama işlemine geçilir. Mayalama işlemine geçmek için, pastörize olmuş sütlerin pastörizasyon sıcaklığından (90°C) mayalama sıcaklığına (45°C) getirilmesi gerekir. Dolayısıyla sütü soğutmak için de kullanılan değişik yöntemler vardır:

Birinci yöntem; işletmeye getirilen çiğ sütler, soğuk depo tankından pastörizatör ünitesine girer ve ünitenin sıcaklığı 66°C'ye ayarlanır. Ünite 66°C'ye kadar ısıtıldıktan sonra çiğ sütler iç içe geçmiş borulardan geçerek mayalama işleminin yapılacağı tanka gelir. Pastörizatör ünitesinden çıkan sütler, en içteki borudan geçerken, en içteki borunun etrafından da pastörizatör ünitesine girecek soğuk çiğ sütler geçer. Ters akışlı olarak ilerleyen sıcak ve soğuk sütler ısı alışverişi yaparlar. Böylece pastörizatör ünitesinden çıkan sütler, mayalama ünitesine sıcaklığı düşmüş olarak girer. Soğuk çiğ sütler ise pastörizatör ünitesine ısı artmış olarak girer. Borular arasındaki sıcak ve soğuk sütlerin çarpışmasından dolayı pastörizatör ünitesinden çıkan sütler soğutulmaktadır. Dolayısıyla temaslı ya da temassız soğutma suyu pastörizatör ünitesinden sıcak olarak çıkan sütleri soğutmak için kullanılmamaktadır.

İkinci yöntemde sütü soğutmak için eşanjör de kullanılabilir. Yani iç içe geçmiş borulardan, içteki borudan sıcak süt, dışındaki borudan da soğuk su geçer. Borulardaki sıcak süt ile soğuk su çarpışarak sıcak sütün ısı düşer ve mayalama ünitesine girer. Isısı artan su ise tank veya yüzey temizliğinde kullanılarak arıtma tesisine gönderilir. Bu şekilde oluşan atıksu, temassız atıksu sınıfına girer.

Üçüncü yöntemde; sütün soğutulması için soğuk su direkt süt ile temas edilerek kullanılabilir. Örneğin, tereyağı üretimi sırasında kremanın yıkama işlemlerinde soğuk su kullanılabilir. Bu süreç sonucunda kullanılan suyun kirlilik konsantrasyonu artar. Krema tereyağına dönüşürken, yıkama işlemlerinde ortaya çıkan kirlenmiş sular ise atıksu olarak arıtma tesisine gönderilir. Burada oluşan atıksu ise, temaslı atıksu sınıfına girer.

#### **2.4. Süt Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Karakterizasyonu**

Süt endüstrisi atıksularının karakterizasyonu üretim prosesine göre değişiklik gösterebilir. Örneğin, yoğurt üreten bir firmanın atıksuyunun kirlilik yükü ile peynir üreten bir firmanın atıksuyunun kirlilik yükü çok farklıdır. Sadece proseslerinde yoğurt ve ayran üretimi yapan firmaların atıksularındaki KOI genellikle peynir üretimi yapan firmaların atıksularının KOI'sinden daha düşük seviyelerdedir.

Atıksuların arıtılmasında atıksu karakterizasyonu, maliyet, sermaye, işletme için uygun personelin varlığı ve yönetmeliklerin sağlanması için gerekli arıtma ihtiyacı gibi faktörler, çeşitli arıtma teknolojilerini de beraberinde getirir. Süt ve süt ürünlerinin üretildiği tesislerin atıkları genellikle birbirine benzer. Asıl kirlilik kaynağı emülsiyon halindeki yağ ve süt atıklarıdır. Yıkama işlemlerinden gelen tüm atıklar kimyasal maddeleri (soda ve deterjanlar gibi) içermektedir.

Süt endüstrisi, diğer birçok tarım endüstrisi gibi yüksek oranda organik madde içerdiği için güçlü karakterde atıksular üretmektedir. Dolayısıyla biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) konsantrasyonları yüksektir (Orhon ve ark. 1993, Demirel ve ark. 2005).

Süt atıksuyunun organik yükünü artırmada öncelikli payı olanlar; sütteki yağ, protein ve karbonhidratlardır (Perle ve ark. 1995).

Süt endüstrisinde kullanılan asit ve alkali temizleyiciler ve yumuşatıcılar atıksu karakteristiğine genellikle etki eder ve tipik olarak çok değişken pH değerlerinde sonuç verir (Baskaran ve ark. 2000).

Süt atıksuyunda, nütrientler (azot, fosfor ve potasyum) ve organik madde (yağ ve gres, çözülmüş laktik asit vb.) de her zaman yüksektir. Sonuç olarak, bu maddelerin süt atıksuyunda yüksek olması, biyokimyasal oksijen ihtiyacının da yüksek olmasına sebep olur. Ayrıca, süt işletmesinden çıkan atıksular, çözülmüş tuzların (toplam çözülmüş katı madde) yüksek konsantrasyonlarına sahiptir (Şengil ve Özacar 2006).

#### **2.4.1. Süt atıksuyu karakterizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar**

Süt endüstrisinden oluşan atıksuların karakterizasyonu ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda kısaca anlatılmıştır.

Danalewich ve ark. (1998) yılında 15 ayrı tesiste yaptıkları karakterizasyon çalışmaları sonucunda Çizelge 2.2'yi oluşturmuşlardır. Toplam BOI<sub>5</sub> ve toplam KOI değerleri bazında 15 tesisin ortalaması göz önünde bulundurulduğunda, süt üretim atıksularının yüksek organik içeriğe sahip olduğu doğrulanmıştır.

**Çizelge 2.2.** Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının karakterizasyonu

Tesis	Toplam BOI <sub>5</sub>	KOI <sub>T</sub>	BOI <sub>5</sub> /KOI	AKM	UAKM	TKM	UKM	Alkalinite	pH
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg CaCO <sub>3</sub> /l)	
1	1843	2447	0,75	586	419	3747	1710	375	10,7
2	5722	7619	0,75	1533	1477	6342	5088	225	6,2
3	1298	2032	0,64	389	225	Kararsız	Kararsız	500	11,3
4	826	2309	0,36	696	567	2925	1848	500	6,7
5	2738	3556	0,77	730	663	3583	1967	400	6,9
6	568	785	0,72	470	307	1833	562	525	6,8
7	1466	2909	0,5	1910	1010	4180	1513	1550	9,4
8	565	2290	0,25	3560	1935	5354	2998	1525	7,9
9	3269	4895	0,67	885	680	4495	3060	775	10,3
10	1003	1644	0,61	371	327	2023	900	625	7
11	2406	3093	0,78	757	699	6063	1243	500	6,9
12	1887	2817	0,67	853	767	3683	1550	650	7,5
13	2108	3232	0,65	923	890	2863	Kararsız	614	10,8
14	1175	1570	0,75	326	284	2327	Kararsız	450	9,8
15	959	1625	0,59	655	298	14205	11034	400	7,6
Ort.	1876	2855	0,63	976	703	4545	2790	652	8,4

Ort. : Ortalama

Çizelge 2.3'te Demirel ve ark. (2005) tarafından yapılan bir araştırmada farklı süt üretim prosesleri sonucu oluşan atıksu karakterizasyon çalışmaları verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Farklı süt üretim prosesleri sonucu oluşan atıksu karakterizasyon çalışmaları

Deşarj Tipi	KOI	BOI <sub>5</sub>	AKM	UAKM	TKM	TKN	Toplam P	Alkalinite	pH
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg CaCO <sub>3</sub> /l)	
Karışık Süt Prosesi	1150-9200	-	340-1730	255-830	-	14-272	8-68	320-970	6-11
Peynir	-	-	2500 <sup>a</sup>	-	-	830 <sup>a</sup>	280 <sup>a</sup>	-	4,7 <sup>a</sup>
Karışık Süt Prosesi	63100 <sup>a</sup>	-	12500 <sup>a</sup>	12100 <sup>a</sup>	53000 <sup>a</sup>	-	-	-	3,35 <sup>a</sup>
Taze Süt	4656 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	6,92 <sup>a</sup>
Peynir	5340 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	5,22 <sup>a</sup>
Süt Tozu/Yağ	1908 <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	-	-	5,8 <sup>a</sup>
Bilinmeyen	980-7500	680-4500	300	-	2705-3715	-	-	-	-
Peyniraltı Suyu	68814 <sup>a</sup>	-	-	-	-	1462 <sup>a</sup>	379 <sup>a</sup>	-	-
Peynir	1000-7500	588-5000	500-2500	-	-	-	-	-	5,5-9,5
Mandıra	2000-6000	1200-4000	350-1000	330-940	-	50-60	-	150-300	8-11
Sıvı Süt	950-2400	500-1300	90-450	-	-	-	-	-	5,0-9,5
Peyniraltı Suyu	61000 <sup>a</sup>	-	1780 <sup>a</sup>	1560 <sup>a</sup>	-	980 <sup>a</sup>	510 <sup>a</sup>	-	
Bilinmeyen	-	-	90-450	-	-	-	-	-	4,4-9,4

a: Ortalama konsantrasyon raporlanmıştır.

Süt endüstrisinden oluşan atıksuların literatürde yapılan karakterizasyon çalışmaları Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 2.4.** Süt endüstrisi ham atıksularının karakterizasyon çalışmaları

Referans	Turan M. (2004)	Tanık ve ark. (2002)	Tawfik ve ark. (2007)
KOI (mg/l)	2000-10000	2148-5134	---
KOI <sub>T</sub> (mg/l)	---	---	3383 ± 1345
BOI <sub>5</sub> (mg/l)	1300-1500	1034-3203	Toplam: 1941±864 Çözünmüş: 517±123
AKM (mg/l)	---	370-770	---
TAKM (mg/l)	800-1000	---	831±392
UKM (mg/l)	---	---	746±214
Yağ-Gres (mg/l)	---	136-354	263±23
Toplam P (mg/l)	---	9,7-28	22±4,8
TKN (mg/l)	---	59,115	51±5,7
Toplam N (mg/l)	40-65	---	---
TOC (mg/l)	---	---	Toplam: 1379±134 Çözünmüş: 961±98
Toplam Koliform/100 ml	---	---	$5,5 \times 10^7 \pm 2,3 \times 10^4$
İletkenlik (µS/cm)	1800-2000	---	---
Bulanıklık (NTU)	120-300	---	---
PH	---	7,16-10,25	7,9±1,2

## 2.5. Süt Endüstrisinden Kaynaklanan Atıksuların Arıtılmasında Kullanılan Yöntemler

Atıksu arıtma sistemi tasarlanırken atıksu karakteristiği önemli rol oynamaktadır. Süt atıksuyunun KOI konsantrasyonu önemli derecede değişkenlik gösterir (Demirel ve ark. 2005). Sektördeki yoğurt üreten bir firmanın atıksuyunun kirlilik yükü ile peynir üreten bir firmanın atıksuyunun kirlilik yükü çok farklıdır. Yoğurt ve ayran üretimi yapan tesislerde yağ-gres ve KOI parametresi düşük olduğu için genellikle sadece fiziksel+biyolojik arıtma ile deşarj standartlarını sağlarlar. Ancak peynir üretimi yapan tesislerde yağ-gres ve KOI parametresi yüksek olduğundan genellikle küçük debili tesislerde (mandıralarda) fiziksel+kimyasal+biyolojik arıtma (ardışık kesikli reaktör) üniteleri tercih edilir.

Birçok ülkede süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları, doğal su ortamlarının önemli ölçüde kirlenmesine neden olan kaynaklar arasında gösterilmektedir. Bu atıksuların olumsuz

etkilerinin önemli ölçüde azaltılması için günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır (Marshall ve Harper 1984).

Süt ve süt ürünleri endüstrisinin atıksuları yüksek miktarda organik madde içermesi nedeniyle uygulanan teknolojilerin büyük bir kısmı biyolojik arıtma esasına dayanmaktadır. Aerobik ve anaerobik biyolojik arıtma sistemleri en sık kullanılan teknolojiler arasında gösterilmektedir. Türkiye’de bu endüstriden kaynaklanan atıksuların aerobik ve anaerobik biyolojik arıtılabilirliğine ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Orhon ve ark. 1993, Öztürk ve ark. 1993, İnce 1998).

Fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemleri tercih edildiğinde, kimyasal madde maliyetinin yüksek ve çözülmüş KOI giderim veriminin düşük olması nedeniyle biyolojik prosesler, daha sık tercih edilmekte ve kullanılmaktadır (Vidal ve ark. 2000, Demirel ve ark. 2005).

### **2.5.1. Süt endüstrisi sektöründe atıksuların arıtılması için halihazırda uygulanan yöntemler**

Süt endüstrisi atıksuları, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılarak arıtılmaktadırlar (Demirel ve ark. 2005). Süt endüstrisi atıksularına genellikle uygulanan arıtma yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

#### **Fiziksel Yöntemler;**

Süt endüstrisi atıksuları, evsel atıksularla birlikte karışık arıtılıyor ise manuel veya otomatik ızgaralardan geçirilmelidir. Büyük parçaların sistemdeki diğer ekipmanların mekanik aksamına zarar vermemesi için sepet tipi ızgaralar tercih edilebilir. Izgaralardan büyük katı parçalardan arınmış olarak geçen atıksular dengeleme havuzuna alınır. Dengeleme havuzunda, düzensiz zaman ve debide gelen atıksuyun dengelenmesi, atıksuyun homojenize edilmesi ve bu sayede atıksu arıtma sistemine sabit debi ve homojen özellikte atıksu verilmesi sağlanır. Böylece arıtma tesisine anlık olarak gelecek yüksek derişimlerdeki toksik maddelerin tesise girmesi önlenerek, inhibisyon etkisi yaratan maddelerin derişimi düşürülür.

#### **Kimyasal Yöntemler;**

Koagülasyon ve flokülasyon, su ve atıksu ortamında askıda ve kolloidal haldeki maddelerin yumaklar haline getirilmesi anlamına gelmektedir. Oluşan bu yumaklar, daha sonra çökeltme ile sudan uzaklaştırılmakta ve sudaki kolloidal ve askıdaki kirlilikler giderilmektedir

(Küçükgül ve Türkman 2004). Koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme, kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır ve  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$  ve kireç en çok kullanılan kimyasallar arasında sayılabilir.

Kimyasal arıtma kesikli olarak tasarlanır ise koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme işlemleri tek bir sistemin içerisinde meydana gelir. Kimyasal arıtma sürekli olarak çalışacak şekilde tasarlanır ise koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme işlemleri ayrı havuzlarda gerçekleştirilir. Kimyasal arıtmayı oluşturan üniteler ya betonarme yapılardan ya da çelik konstrüksiyondan yapılabilir. Betonarme inşaat yapılan üniteler, sektörde havuz olarak tanımlanırken, çelik konstrüksiyondan imal edilen üniteler ise tank olarak tanımlanır. Yer sorunu olan firmalar, atıksu arıtma tesisi tasarımlarının özellikle tank olarak yapılmasını tercih etmektedirler.

Kimyasal arıtmanın bölümleri aşağıda açıklanmıştır:

**a) Hızlı Karıştırma (Koagülasyon):**

Kimyasal arıtmanın ilk aşamasında atıksu içine yük dengesini bozmak ve pıhtı oluşturmak amacıyla karıştırılacak koagülant kimyasal çözeltilerinin ( $FeCl_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeSO_4$  vb.) atıksu ile etkin şekilde karışımı, havuz içerisinde bulunan karıştırıcı ile sağlanır. Kimyasal çözelti hazırlama tanklarında istenen derişimde hazırlanan çözeltiler bu havuza dozaj pompaları vasıtasıyla otomatik olarak ilave edilir. Dozaj pompası ile basılan kimyasal çözeltilerin, literatür bilgileri göz önünde bulundurularak, seçilen 5 dakikalık bir süre boyunca atıksu ile karışımı sağlanır. Bu havuza aynı zamanda pH metre kontrolünde kireç+kostik ilavesi yapılarak koagülant ilavesi ile pH'ı düşen atıksuyun pH'ı uygun seviyelere getirilir.

**b) Yavaş Karıştırma (Flokülasyon):**

Hızlı karıştırma havuzundan sonra atıksu, kimyasal arıtmanın ikinci aşaması olan yavaş karıştırma havuzuna geçer. Bu havuzda, hızlı karıştırma havuzunda oluşturulan pıhtıların yumaklaşması amacıyla ilave edilecek flokülant kimyasal çözeltisinin (polielektrolit) atıksu ile etkin şekilde karışımı sağlanır. Karışımın sağlanması için havuz içinde karıştırıcı bulunmalıdır. Çözelti tanklarında istenen derişimde hazırlanacak polielektrolit çözeltisi, bu havuza debi ayarlı dozaj pompaları vasıtasıyla otomatik olarak ilave edilir ve 20 dakika süreyle havuz karıştırılır.



### **c) Çöktürme Havuzu:**

Yavaş karıştırma havuzundan çıkan atıksu, kimyasal arıtmanın son aşaması olan çöktürme havuzuna girer. Çöktürme havuzu genellikle konik tabanlı tasarlanır. Çöktürme, özgül ağırlığı sudan daha fazla olan, floklar haline getirilmiş kirlilik oluşturan maddelerin, sudan ayrılması işlemidir. Bu işlem, özgül ağırlık farkından yararlanılması ile havuzun geometrik yapısı gereği flokların havuz tabanına çökmesinin sağlanması şeklinde yapılır. Bu işlem sonunda kirlilik oluşturan maddeler, floklar halinde havuz tabanında toplanırken, kimyasal olarak arıtılmış olan atıksu ise çıkış yapısından savaklanır. Arıtılmış atıksu tasarım gereği ya alıcı ortama deşarj edilir ya da biyolojik arıtmaya alınarak arıtma sürecine devam edilir.

Kimyasal arıtma işlemi tamamlandıktan sonra, çökme için gerekli süre sonunda altta toplanan çamur, yoğunlaştırma ve susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilmek üzere uzaklaştırılır.

### **Biyolojik Yöntemler;**

Biyolojik arıtmanın amacı, çözünmüş ve kolloid halde kirlitici maddelerin aerobik ve anaerobik şartlarda giderilmesi ve organik maddenin daha kararlı ve zararsız formlara dönüştürülmesidir. Biyolojik arıtmada mikroorganizma hücrelerine dönüşen organik maddelerin çökerek atıksudan ayrılması amaçlanmaktadır. Biyolojik arıtma yöntemlerinde, mikroorganizmaların yaşamlarını etkileyen faktörlerin dikkate alınması ve öngörülen sınır değerlerin aşılması gerekir (Samsunlu 2006).

Süt endüstrisi atıksularının arıtılması için, yaygın olarak kullanılan biyolojik arıtma sistemleri arasında oksidasyon havuzu, damlatmalı filtre, birleşik damlatmalı filtre, aktif çamur sistemleri ve anaerobik arıtma yer almaktadır (Demirel ve ark. 2005).

Biyolojik arıtma sistemleri, aerobik ve anaerobik olmak üzere ikiye ayrılır.

#### **a) Aerobik Arıtma**

Süt atıksularının arıtılmasında özellikle de küçük debili işletmeler için, ardışık kesikli aktif çamur tesisleri sıkça kullanılmaktadır ama yüksek enerji sarfiyatı bu prosesin önemli bir dezavantajını oluşturmaktadır.

Aktif çamur sistemleri, yüksek organik madde giderim veriminden dolayı, süt endüstrisi atıksularının arıtılmasında sıklıkla kullanılmaktadır (Sirianuntapiboon ve ark. 2005). Ancak yüksek miktarda enerji sarfiyatına yol açması, yüksek miktarlarda oluşan biyolojik çamur ve

büyük hacim kaplayan havuzlar sistemin dezavantajları arasındadır (Sirianuntapiboon ve ark. 2005, Banu ve ark. 2008).

### **a1) Ardışık Kesikli Aktif Çamur Sistemi**

Kırsal alanlarda küçük hacimli işletmeler için ardışık kesikli aktif çamur sistemi, biyolojik arıtma sistemleri içinde biyolojik oksidasyon ve çöktürme işlemlerinin aynı tank içerisinde gerçekleştirilmesinden dolayı daha kolay işletilebilmesi ve emniyetli sonuç vermesi açısından sıklıkla tercih edilmektedir. Ardışık kesikli reaktör sistemi doldurma, reaksiyon, çöktürme, boşaltma ve hazırlık basamaklarını içeren bir ardışık işletmeyi içerir (Uygur ve ark. 2003).

Ardışık kesikli aktif çamur prosesi olarak işletilen biyolojik reaktör havuzunda, aktif çamur ile temas eden atıksuda bulunan organik maddeler, aktif çamur tarafından su, karbondioksit ve yeni hücrelere dönüştürülür. Aktif çamurun ihtiyacı olan oksijen, genellikle havuz tabanına döşenen difüzörler vasıtasıyla blower tarafından üretilen hava ile sisteme verilmekte olup, bu havalandırma, difüzörlerin uygun yerleştirilmesi ile aynı zamanda aktif çamurun çökmemesi için gerekli tam karışımı da sağlamış olur. Biyolojik reaktörde, yeterli süre blowerin kapatılması ve karışımın kesilmesi ile yeterli süre beklenmesi sonucu biyokütlenin çöktürme işlemi gerçekleştirilir. Biyolojik reaktör bu tür tasarımlarda aynı zamanda çamur yatağı olarak kullanılmaktadır. Difüzörlerde herhangi bir tıkanma olmaması için difüzörler biyolojik reaktör havuzu tabanından 20-30 cm yüksekte döşenirler.

Ardışık kesikli aktif çamur sistemi, süt sektörü içinde üretim açısından küçük işletmeler yani mandıralar için atıksu karakteristiği de göz önünde bulundurularak büyük oranda uygulanan yöntemler arasındadır. Ardışık kesikli reaktör sistemleri, nitrifikasyon ve denitrifikasyon yöntemleri ile azot bileşiklerini azaltma yeteneğine sahip olmasından dolayı, süt endüstrisi atıksularının arıtılması için uygun olabilir (Keller ve ark. 1997, Metcalf ve Eddy 2003, Sirianuntapiboon ve ark. 2005).

### **a2) Klasik Aktif Çamur Sistemi**

Büyük debiye sahip atıksuların arıtılmasında ise klasik aktif çamur sistemi kullanılabilir. Klasik aktif çamur sisteminde proses, havalandırma havuzu ve son çöktürme havuzu olarak tasarlanır.

Aktif çamur prosesinde, hücre büyümesi için gerekli olan karbon kaynağı organik madde, son ürünlere dönüştürülür. Arıtma sonrası arıtılmış su içerisindeki askıda katı maddenin

uzaklaştırılması için en yaygın olarak kullanılan yöntem, çöktürme yöntemidir. Çıkış suyu kalitesinin iyi olması için son çöktürme havuzunun iyi tasarlanması gerekir. Arıtılmış su içerisindeki  $BOI_5$  değerini oluşturan en önemli bileşen, sistemden kaçan AKM'dir. Bu nedenle son çöktürme havuzu aktif çamur süreci ile ele alınması gereken önemli bir ünedir (Toprak 1999).

## **b) Anaerobik Arıtma**

Süt endüstrisi atıksularının arıtımı için arıtılacak proses atıksuyunun AKM konsantrasyonu düşük ise, biyolojik arıtma için havasız filtre reaktörler uygundur. Özellikle 1990 yılından itibaren süt endüstrisi atıksularının havasız filtre reaktörler ile arıtımını konu alan çeşitli çalışmalar literatürde yer almaktadır. Süt atıksuyunun KOI konsantrasyonları önemli derecede değişkenlik gösterir. Ayrıca süt atıksuyunun ılık ve dayanıklı olması, anaerobik arıtma için ideal bir ortam yaratır (Demirel ve ark. 2005)

Havasız arıtma prosesleri, gerek süt endüstrisi atıksularının arıtılmasında gerekse yüksek organik madde içeren tarım endüstrisi atıksularının arıtımında, aerobik proseslere göre önemli avantajlara sahiptir (Gavala ve ark. 1996, Rajeshwari ve ark. 2000).

Anaerobik arıtma, aerobik proseslerle karşılaştırıldığında, anaerobik arıtmada havalandırma ihtiyacının olmaması, fazla çamurun düşük miktarda oluşması ve alan ihtiyacının az olması gibi sebepler anaerobik arıtmayı avantajlı kılmaktadır.

Süt endüstrisi atıksularından biyogaz üretimi de bu prosesi, aerobik arıtma proseslerine göre çok daha cazip kılmaktadır (Baig ve ark. 1999, Ramasamy ve Abbasi 2000, Goldstein 2004, McGrath ve Mason 2004).

### **2.5.2. Süt endüstrisi atıksularının arıtılması ile ilgili yapılan çalışmalar**

Karpati ve ark. (1989) yapmış oldukları çalışmada, süt atıksularına ön arıtma olarak  $Ca(OH)_2$  ve  $FeSO_4$  kimyasallarını uygulamışlardır. Yapmış oldukları fiziksel ve kimyasal arıtma çalışmalarında yüksek KOI arıtma verimi elde etmişlerdir.

Blanc ve Navia (1990) koagülasyon-flokülasyonu, ön arıtma olarak uygulanabilirliği açısından incelemişlerdir. Koagülant olarak  $FeCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  ve alum kullanmışlardır. Çalışma, sütün belli bir oranda seyreltilmesiyle elde edilen sentetik numuneyle yürütülmüştür.

Çalışmalar sonunda  $FeCl_3$  ve  $Fe_2(SO_4)_3$  ile %70'in üzerinde, alum ile %65'in üzerinde KOI giderim verimi elde edilmiştir.

Rusten ve ark. (1990) geri kazanma amacı olmadan sadece ön arıtma amacıyla yürüttükleri çalışmalarında koagülant olarak  $FeCl_3$  ve alum kullanmışlardır. Ayrıca koagülant kullanmadan sadece pH ayarı ile denemeler yapmışlardır. Çalışmaların sonunda atıksuyun karakterine bağlı olarak oldukça farklı KOI giderme verimleri elde etmişlerdir. En yüksek KOI giderme veriminin en düşük  $KOI_C/KOI_T$  oranında elde edildiğini belirtmişlerdir.

Hamoda ve Al-Awadi (1996) süt ve süt endüstrisi atıksularının kimyasal arıtma sonrası sulama amaçlı kullanılmasına yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu amaçla alum kullanarak atıksuları kimyasal olarak arıtmış ve bu arıtılmış suyla yapılan sulamanın bitkiler üzerinde etkisini incelemişlerdir. Optimum koagülant dozajında %50'nin üzerinde KOI giderme verimi elde edilmiştir. Kimyasal olarak arıtılmış su, sulama için gerekli olan su kalite kriterlerini sağlamıştır. Ancak, yüksek tuz oranı tarımsal arazilerdeki kullanımı kısıtlamıştır.

Laboratuvar ölçekli bir çalışmada, 6 saat hidrolik bekletme süresi ve  $5^{\circ}C$  sıcaklıkta, yağ içermeyen sentetik bir süt endüstrisi atıksuyu için, havasız ardışık kesikli reaktör sisteminde %62 civarında çözülmüş KOI ve %75 civarında  $BOI_5$  giderim verimi sağlanmıştır (Banik ve Dague 1997).

Danalewich ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmada, Amerika Birleşik Devletleri'nin kuzey batısında yer alan 15 tesisten numune alınarak, süt atıksuyunun proses işletimi, atık cinsi, arıtım yöntemleri, kimyasal dozları ve atıksu karakteristikleri hakkında bilgi sağlanmaya çalışılmıştır. Çalışma süresince atıksu akış miktarı ve karakteristiğinin tüm tesisler içerisinde ve arasında büyük oranda değişken olduğu gözlenmiştir. Temizlik yapılırken, kostik-soda, fosforik asit ve nitrik asit kullanılması, atıksu karakteristiğine önemli derecede etki etmiştir. Özellikle fosforik asit içeren temizleyicilerin kullanılması, deşarj değerlerinin kötü kalite çıkmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, atıksu miktarı ve karakterinde görülen büyük değişiklikler, bu endüstriden kaynaklanan atıksuların biyolojik olarak arıtılmasını zorlaştırmıştır.

Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksularının arıtımında oksidasyon hendekleri de kullanılmaktadır. Oksidasyon hendekleri ile arıtmada sistem kesikli veya sürekli çalıştırılabilmektedir. Hendekteki ortalama akış hızı 0,10-0,15 m/sn'dir. Oksidasyon

hendeklerinde 50-72 saat bekletme süresinde çok yüksek verim elde etmek mümkün olmaktadır (Demir ve ark. 2000).

Tanık ve ark. (2002), İstanbul'da bir süt üretim tesisinde kimyasal arıtılabilirlik çalışması yapmışlardır. İstanbul'da arıtılmış sular, İstanbul Büyük Şehir Belediyesi'ne bağlı İSKİ kanalına verilmektedir. Arıtılmış sular, bu kanala verilmeden önce de belediyenin deşarj standartlarını sağlamak için bir ön arıtmadan geçmektedir. Ayda bir kez kompozit olarak alınan numuneler üzerinde  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$  ve alum kullanılarak optimum pH ve arıtılabilirlik verimlilikleri belirlenmiştir. Optimum pH,  $FeCl_3$  ve  $FeSO_4$  için 4-4,5 arasında, alum için 5-6 arasında bulunmuştur. KOI giderim verimleri ise  $FeCl_3$  için %72,  $FeSO_4$  için %59 ve alum için ise %54 bulunmuştur. Bununla beraber, KOI giderim verimliliği, İSKİ'nin belirlemiş olduğu kanalizasyona deşarj standartlarını sağlayamamıştır. Süt endüstrisi atıksuyu üzerinde kimyasal arıtma çalışmalarına, dünyanın çeşitli ülkelerinde son on yıl içinde hız verilmiştir. Arap Ülkeleri'nde, kimyasal olarak arıtılan süt atıksuyunun deşarjı, sulama amacı ile kullanılmıştır. Son yapılan çalışmalar göstermektedir ki, farklı tipte koagülantlar kullanılarak süt atıksuyunun kimyasal olarak arıtılabilmesi çalışmalarının yanında koagülantlar farklı çalışmalar için de kullanılmaya başlanmıştır.

Jomaa ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmanın başlıca amacı, biyosolidler, proteinler, yağlar, hidrokarbonlar ve fiberler gibi basit bileşenleri çeşitli miktarlarda içeren üç atık tipinin hidrotermal parçalanması ve oksidasyon eğilimlerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasıdır. Üç atık tipi, atıksu arıtma tesisi çamuru, ahşap atıkları ve süt endüstrisi atıksularıdır. Atıklar, yaklaşık %1,3-2 toplam katı ve 20.400-26.700 mg/l KOI'ye sahiptir. Deneysel program, 100-450°C arası sıcaklık, KOI'nin %0-150 katı aralığında oksidantı (hidrojen peroksit) ve 60 dakikaya kadar reaksiyon zamanında kesikli reaktörde yürütülen hidrotermal arıtma denemelerinden ibarettir. Sonuçlar, atık kompozisyonu, oksidanın alınabilirliği, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon zamanının, parçalanma ve oksidasyon etkinliği açısından belirleyici faktörleridir. Odun atıklarının parçalanması oldukça zordur ve bu yüzden diğer iki atık türü ile karşılaştırılabilir sonuçlar vermesi için daha agresif arıtma şartları gerektirir. Partikül organik maddelerin parçalanması ve çözülmüş organik parçalanma yan ürünlerinin maksimum birikimi, süt endüstrisi atıksuları için %20 KOI gideriminde, çamur için % 40 KOI gideriminde ve ağaç atıkları için %60 toplam KOI gideriminde elde edilmiştir. Veriler, istenilen seviyede çözülmüş organik yan ürünlerinin birikimini sağlamak için belirli

seviyede KOI giderim gereksiniminin, parçalanmanın dengesi, çeşitli arıtma koşulları şartlarının kullanılması ve oksidasyonun aracılığıyla başarılabilceğini doğrulamıştır.

Süt endüstrisi atıksuyunun arıtılmasında, filtrasyon performansı, nanofiltrasyonun tortusu ve ters osmozun membranları incelenmiştir. Deneilerin iki serisinden bir tanesinde, kimyasal ve biyolojik arıtma tesisinden çıkan suyun arıtılması için nanofiltrasyon membran (TFC-S), ikincisinde ise süt endüstrisinden oluşan ham atıksuyunun arıtılması için ters osmoz membran (TFC-HR) kullanılmıştır. Süzüntü akışı, transmembran basıncı ve besleme debisine göre daha yüksektir. Besleme debisi azalır ve basınç artarken, süzüntü akışının eğrileri daha yavaş bir artış sergilemiştir. Membran kirlenmesi, KOI konsantrasyonunun artması ile süzüntü akışının düşüşünde meydana gelmiştir. Dahası, KOI artışından dolayı meydana gelen akış düşüşü, nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarının her ikisinde de basınç yüksek olduğu için daha yüksek bulunmuştur (Turan 2004).

Sarkar ve ark. (2005) süt endüstrisinden kaynaklanan atıksuyunun yeniden kullanılması için yapmış oldukları çalışmada, koagülasyon, adsorpsiyon ve membran seperasyonlarını tercih etmişlerdir. Süt endüstrisinin bu çalışma için seçilmesinin sebebi, süt üretimlerinde yüksek miktarda su kullanılması olmuştur. Son zamanlarda, yüksek atık/akış karakteristikleri ile yeni membranların gelişmesi, suyun geri kazanım ve yeniden kullanılma olasılığını artırmıştır. Bu araştırmada bütün ön arıtma çalışmaları, koagülantların farklı tipleri kullanılarak yapılmıştır. Bu koagülatlar, inorganik, polimerik ve biyolojik kökene sahip organik olarak sıralanmıştır. Koagülant arıtma, değişik pH ayarlarında farklı dozlar kullanılarak yapılmıştır. Arıtmanın devamında da aktif kömürün kullanıldığı biyolojik arıtma çalışması yapılmıştır. Çalışmada iki ön arıtma yöntemlerinin birleşik etkileri ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda renk ve kokunun tümüyle giderildiği ve aktif kömür kullanımından sonra bu durumun süreklilik arz ettiği görülmüştür. Buna bağlı olarak ön arıtılmış su, reverse osmoz membranlarından geçirilmiş ve sistemden çıkan su iyi kalite de bulunmuştur. Sonuç olarak, arıtılmış suyun karakteristiği, süt tesisinin prosesi sırasında kullanılan su ile karşılaştırılmış ve süt üretimi için arıtılmış suyun geri kazanılabileceği veya yeniden kullanılabileceği görülmüştür.

Sirianuntapiboon ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada, süt endüstrisi atıksularının arıtılması için ardışık kesikli reaktör biyofilm sistemini incelemişlerdir. Ardışık kesikli reaktör biyofilm sistemi, sürekli ardışık kesikli reaktör sisteminden modifiye edilmiştir. Reaktörün tabanındaki 2,7 m<sup>2</sup> yüzey alanda plastik bir ekran kurulmuştur. Sistem verimliliği ve biyolojik çamur kalitesi, sistemde biyolojik çamurun fazlalaşması ile artmıştır. Ardışık

kesikli reaktör biyofilm sisteminde, KOI, BOI<sub>5</sub>, TKN ve yağ-gres giderim verimleri, 1.340 g BOI<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.gün organik yük altında sırasıyla, %89,3±0,1; %83±0,2; %59,4±0,8 ve %82,4±0,4 hesaplanmıştır. Sürekli ardışık kesikli reaktör sisteminde ise aynı yük altında sırasıyla, %87,0±0,2; %79,9±0,3; %48,7±1,7 ve %79,3±10 olarak hesaplanmıştır. Ardışık kesikli reaktör biyofilm sisteminde, 1.340 g BOI<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.gün organik yük altında ise SVI'nın, 100 ml/g'dan daha düşük olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, 680 g BOI<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.gün organik yük altında ardışık kesikli reaktör biyofilm sisteminde, KOI, BOI<sub>5</sub>, TKN ve yağ-gres giderim verimleri sırasıyla %97,9±0; %97,9±0,1; %79,3±1,0 ve %94,8±0,5 olarak bulunmuş ve fazla biyolojik çamur oluşmamıştır. Ardışık kesikli reaktör biyofilm sisteminde biyolojik çamurun SVI'sının, 680 g BOI<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>.gün organik yük altında sadece 44±3,4 ml/g olduğu bulunmuştur.

Kılıç (2006) yapmış olduğu bir çalışmada, laboratuvar ortamında çalıştığı üç tane ardışık kesikli reaktörde de, hem klasik aktif çamur yöntemini hem de sentetik taşıyıcı malzemelerin kullanıldığı aktif çamur modifikasyonlarını kullanarak, bir süt endüstrisi atıksuyunun arıtılabilirlik verimliliklerini incelemiş ve aynı zamanda da taşıyıcı malzemelerin arıtma verimine etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda ise KOI giderim veriminin, klasik aktif çamur reaktöründe %66, kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'de %75, linpor taşıyıcı malzemeli AKR'de ise %56 olduğunu tespit etmiştir. Kaldnes taşıyıcı malzemeli AKR'nin, klasik AKR'ye göre organik madde gideriminde ve malzeme üzerinde biokütle oluşumunda daha başarılı olduğunu gözlemlemiştir.

Şengil ve Özacar (2006) yapmış oldukları çalışmada, düşük karbonlu çelik elektrotlar kullanarak elektrokoagülasyon ile süt atıksuyunun arıtılabilirliğini incelemişlerdir. Doğru akım elektrokoagülasyon yöntemi kullanarak süt endüstrisi atıksularından yağ-gres ve KOI giderimini deneme-yanılma yolu ile araştırmışlardır. Süt atıksuyunun elektrokoagülasyon ile arıtılmasında giriş pH'ının, elektroliz süresinin, giriş KOI konsantrasyonunun, iletkenliğinin ve akım yoğunluğunun etkisi incelenmiştir. Optimum işletme değeri, her bir işletme koşulu için deneme-yanılma yolu ile kararlaştırılmıştır. Her bir deneysel sonuç, KOI ve yağ-gresin, sulu fazda etkili olarak giderildiğini göstermiştir. Tüm KOI ve yağ-gres giderim verimleri sırasıyla, %98 ve %99 mertebelerine ulaşmıştır. 18.300 mg KOI/l ve 4.570 mg yağ-gres/l için optimum akım yoğunluğu, pH ve elektroliz süresinin sırasıyla 0,6 mA/cm<sup>2</sup>, 7 ve 1 dakika olduğu bulunmuştur. KOI'nin enerji tüketim değeri, 0,003 kWh/kg olarak hesaplanmıştır.

Göblös ve ark. (2007) iki farklı substrat ile beslenen anaerobik ardışık kesikli reaktörün performansları üzerine çalışmışlardır. Biyogaz üretiminde etanolün uygunluğunun

incelenmesi için peyniraltı suyu ve peyniraltı suyunun "*Kluyveromyces lactis*" ile fermente edilmiş hali substrat olarak kullanılmıştır. Her iki reaktör sistemi için organik yük oranı, deney süresince 1,6 g/dm<sup>3</sup>.gün'den 12,8 g/dm<sup>3</sup>.gün'e ve hidrolik alıkonma zamanına ilişkin azalma ise 40 günden 5 güne ayarlanmıştır. Her bir sistemin verimliliğine dayanan organik yük oranı; en yüksek KOI giderim oranı ve en düşük organik yük oranı (her iki sistemde de %100) uygulamasında gözlenmiştir. Maksimum organik yük oranında KOI giderim verimliliği peyniraltı suyu ile beslenmiş reaktör için %68 ve ön fermente edilmiş peyniraltı suyu ile beslenmiş reaktör için ise %80 bulunmuştur. Sonuçlar, özellikle yüksek organik yük oranı seviyelerinde ön fermente edilmiş peyniraltı suyu substratının, pH kontrolsüz anaerobik seperatör için uygun olduğunu göstermiştir.

Banu ve ark. (2008) yapmış oldukları çalışmada anaerobik ve solar fotokatalitik oksidasyon metotlarını kullanarak süt atıksuyunu arıtmayı amaçlamışlardır. Deney düzeneği için laboratuvar ölçeğinde 5,9 litre hacme sahip yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı sistem kullanılmıştır. Bu sistem 110 günlük periyotlar için 8 kg KOI/m<sup>3</sup>.gün'den 20 kg KOI/m<sup>3</sup>.gün'e kadar çeşitli organik yük oranlarında işletilmiştir. Anaerobik reaktörün maksimum yük oranının 19,2 kg KOI/m<sup>3</sup>.gün ve bu organik yük oranında ilgili KOI gideriminin %84 olduğu bulunmuştur. Anaerobik olarak 19,2 kg KOI/m<sup>3</sup>.gün organik yük altındaki arıtılmış atıksu, ikincil solar fotokatalitik oksidasyon arıtmasına maruz bırakılmıştır. Solar fotokimyasal oksidasyon için optimum pH ve katalizör yükü sırasıyla 5 ve 300 mg/l olarak bulunmuştur. İkincil solar fotokatalitik oksidasyon ile TiO<sub>2</sub> kullanılarak, birincil anaerobik arıtmadan arıtılarak çıkan suda KOI'nin %62'sinin giderildiği gözlenmiştir. Anaerobik arıtma ve solar fotokatalitik arıtma entegre edildiğinde, süt atıksuyundan KOI giderme veriminin %92 mertebelerine çıktığı gözlenmiştir. Sonuç olarak bulgular, anaerobik arıtmanın sonuna solar fotokatalitik oksidasyon ilave edildiğinde, süt atıksuyunun arıtılması için alternatif yöntemlerden birisi olmasının mümkün olabileceğini göstermiştir.



### 3. OZON OKSİDASYONU

Ozon, tat-koku kontrolü ve renk giderimi için yaygın olarak kullanılmasının yanında öncelikle suyun dezenfekte edilmesinde kullanılmaktadır. Son yıllarda ise ozon su arıtımında olduğu kadar atıksu arıtımında da ekonomik olarak kullanılmaya başlamıştır. Ozon, karbon adsorpsiyon prosesleri yerine ileri atıksu arıtımında, çözünebilir-dirençli organiklerin gideriminde de kullanılabilir. Ozonun karakteristiği, ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri, ozonun üretimi, dezenfektan olarak ozonun performans analizi, ozon prosesinin uygulanması, aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır (Metcalf ve Eddy 2003).

#### 3.1. Ozonun Tarihçesi

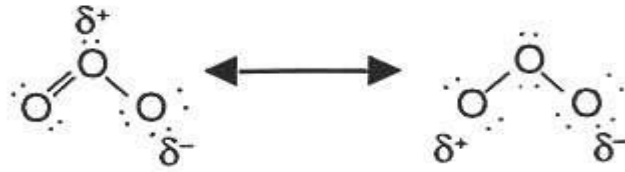
Ozon, 18. yüzyıldan beri bilinmektedir. Alman bilim adamı Christian F. Schönbein tarafından 1840 yılında yeni bir madde olarak keşfedilen ancak yıllar sonra üç atomlu ( $O_3$ ) olduğu gösterilebilen ozon, karakteristik bir kokuya sahip olduğundan dolayı, Yunanca "*Ozein*" (koku) kelimesinden türetilmiştir (Rice 1999).

Ozonun varlığı ilk defa 1785 tarihinde Van Marum tarafından açıklanmıştır. 1886 yılında Meritens tarafından ozonun dezenfeksiyon özelliği olduğu belirtilmiştir. 1892 tarihinden sonra ozonun dezenfeksiyon amaçlı kullanılması için çeşitli deneme tesisleri inşa edilmiş ancak ilk büyük tesis 1906 tarihinde Fransa'nın Nice şehrinde işletmeye alınmıştır. 1936 tarihine kadar Fransa'da 100, diğer ülkelerde de 30-40 kadar ozonlama tesisi inşa edilmiştir. Ozon, atıksuların dezenfeksiyonu için ilk olarak 1975 yılında ABD'de Florida-Indiantown'da kullanılmıştır (Lamarre 1997, Sevimli 2000).

1980'li yıllarda ABD'de laboratuvarlarda yapılan araştırmalar sonucunda, su arıtımında kullanılan klorun, kanserojen madde olan THM (Trihalometan) ürettiği, havuz suyundaki idrar ve terle karıştığında ise ciddi göz yakıcılar olarak bilinen kloraminler ürettiği açıklanmıştır. Bu araştırma sonuçlarından sonra EPA; içme suları, yüzme havuzları ve atıksularda kullanılan klora alternatif olarak ozonun kullanılmasını kabul etmiştir. Ozon 1990'lı yıllarda "Genel Olarak Güvenilebilir" (GRAS) onayını almıştır ve Rusya'da 1992 yılından bu yana yanık tedavilerinde kullanılmaktadır. 1994 yılında tıp sektörü ozonu dezenfektan olarak kabul etmiştir. 2000'li yıllarda ise ozon jeneratörleri pek çok sektörde kullanılmaya başlanmıştır (Kılıçer 2006).

### 3.2. Ozonun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ozon, özellikle fırtınalardan sonra, havada oluşan ve kendine has kokusu olan, renksiz, oksitleme gücü yüksek, üç tane oksijen atomunun birbirlerine açılı ve simetrik bir şekilde kovalent bağ ile bağlanmasından oluşan, oksijenin modifikasyonu olan, son derece yüksek enerjili, stabil olmayan, kimyasal formülü  $O_3$  olan bir gazdır (Önsoy 2007). Ozonun molekülünün yapısı Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Ozon molekülünün yapısı (Anonim 2004a)

Normal oda sıcaklığında mavi bir gaz ve belirgin bir kokuya sahip olan ozon  $2 \times 10^{-5}$  ile  $1 \times 10^{-4}$   $g/m^3$  (0,01 ile 0,05 ppm arası) konsantrasyonlarında fark edilmektedir. Ozon gazı, konsantrasyonu  $240 g/m^3$  civarlarına ulaştığında (havada % 20 ağırlığında) patlayıcı özelliğe sahiptir. Suda ozonun kararlılığı, Henry Yasası’na uymaktadır. Henry Yasası, bir gazın çözünürlüğünün, gaz basıncı ile doğru orantılı olarak değişmesidir. Ozon gazı oldukça korozif, zehirli ve atmosferde 0,1 ppm’in üzerinde insan sağlığına zararlıdır. Ozon, su ve atıksu arıtımında kullanılan kimyasallar arasında serbest hidroksil radikalinden sonra en kuvvetli oksidanttır ve bu özelliği ile birçok organik ve inorganik maddeyi son oksidasyon kademesine kadar okside edebilme özelliğine sahiptir. Ozon suda oldukça az çözünen bir maddedir ve klor suda, ozondan 12 kat daha fazla çözünebilmektedir. Bu özellik ozon gazının suya transferini kısıtlayıcı bir rol oynamaktadır. Bulanıklığı giderilmiş ve filtrelenmiş suların dezenfeksiyonu için düşük miktarlarda ozon yeterlidir. Ayrıca yeterli miktarda dozajı sağlandığında da sudaki virüsleri öldürebilir. Ozon suda artık olarak kalmadığı için, içme suyu iletim hatlarındaki sızıntı, sağlık riski açısından en büyük dezavantajıdır. Ozon, yüksek oksitleyici özelliğe sahip olduğu için yükseltgen veya dezenfektan olarak yaygın biçimde kullanılır (Metcalf ve Eddy 2003, Güneş 2006, Önsoy 2007, Deniz 2008).

Ozon gazının kullanımı sadece içme suyu arıtımıyla kısıtlı kalmamıştır. Atıksu arıtımında da uzun yıllardır kullanılmaktadır. Atıksu arıtımında ozon, biyolojik arıtmadan sonra dezenfeksiyon amaçlı kullanımının yanında koagülasyon–flokülasyon ve karbon filtrasyonunun verimini arttırmak, biyolojik arıtmayı ters etkileyebilecek refraktör ve zehirli maddeleri uzaklaştırmak ve kendinden sonraki sistemlerde oluşabilecek çamur miktarlarını azaltmak için uzun yıllardır kullanılmaktadır (Beltrán 2004).

Standart koşullarda gaz formunda bulunan ozonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Ozon gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Metcalf ve Eddy 2003)

Özellik	Değer	Birim
Moleküler Ağırlık	48	g
Özgül Ağırlık (H <sub>2</sub> O = 1)	2,144	---
Kaynama Noktası	(-119,9 ± 0,3)	°C
Erime Noktası	(-192,5 ± 0,4)	°C
111,9°C’de Buharlaştırmanın Sınır Isısı	14,9	kJ/kg
183°C’de Sıvı Yoğunluğu	1574	kg/m <sup>3</sup>
0°C ve 1 atm’de Buhar Yoğunluğu	2,154	g/ml
20°C’de Suda Çözünürlüğü	12,07	mg/l
180°C’de Buhar Basıncı	11	kPa
0°C ve 1 atm’de Kuru Havaya Karşın Buhar Yoğunluğu	1,666	---
0°C ve 1 atm’de Spesifik Buhar Hacmi	0,464	m <sup>3</sup> /kg
Kritik Sıcaklık	(-12,1)	°C
Kritik Basınç	5532,3	kPa

### 3.3. Ozon Üretimi

Ozon, hem doğada doğal bir şekilde oluşurken hem de oksijen molekülünün oldukça kararsız iki oksijen atomuna parçalanması ile oluşur.

### 3.3.1. Ozonun doğal olarak oluşumu

Ozon atmosferin üst kısımlarında (stratosfer) ve alt kısımlarında (troposfer) farklı şekillerde oluşur. Atmosferin alt tabakalarında (troposferde) atmosferden sağlanan elektriksel enerji ile ozon oluşumu meydana gelir; ancak bu oluşum son derece sınırlıdır ve bir dış müdahale olmaksızın, troposferdeki ozon konsantrasyonu 0,1 ile 0,4 ppm arasındadır (Ersoy ve Sanver 1994).

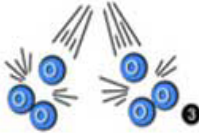
Ozon, güneşin ultraviyole ışınları ve yüksek voltajlı enerji boşalması ile sırasıyla aşağıdaki yolları izleyerek oluşur (Tanrıverdi ve Çınlar 2005).



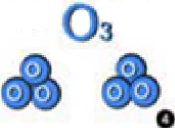
1) Yüksek enerjili mor ötesi ışınlar, bir oksijen molekülüne (O<sub>2</sub>) çarpar.



2) Çarpmanın etkisi ile oksijen molekülü iki serbest oksijen atomuna ayrılır.



3) Serbest kalan oksijen atomları, oksijen molekülleri ile birleşir.



4) Bu birleşmeler sonucunda ozon molekülü (O<sub>3</sub>) oluşur.

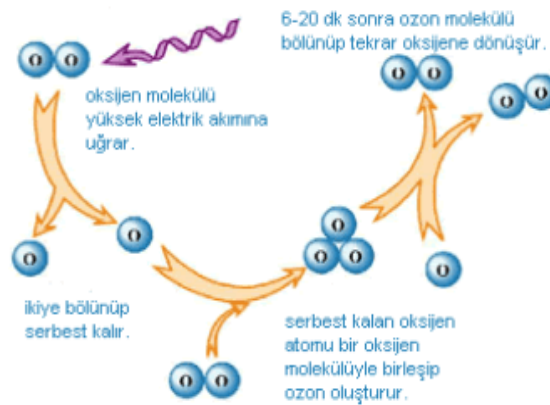
### 3.3.2. Ozonun yapay olarak üretimi

Ozon çok kısa bir yarı ömre sahip olduğundan dolayı üretimden sonra çok hızlı bir şekilde oksijene parçalanır. Buna bağlı olarak taşınması ve depolanması mümkün olmamakta, bu sebeple de ozonun üretildiği yerde ve anda kullanılması gerekmektedir. Ozon gazından oksijen moleküllerinin ayrılması için gerekli olan teorik spesifik enerji ihtiyacı 0,820 kWh/kgO<sub>3</sub> veya 0,372 kWh/lbO<sub>3</sub>'tür (Rakness 2005).

Ozon üretimi ya kuru hava ya da yüksek saflıkta oksijen kullanılarak yapılabilmektedir. Kuru hava, hacimsel olarak %21 oksijen içerir. Sıvılaştırılmış saf oksijen ise özel tekniklerle elde edilebilir. Ozon üretimi; fotokimyasal olarak ozon üretimi, elektrolitik ozon üretimi, radyokimyasal ozon üretimi, Corona deşarjı ile ozon üretimi olarak sıralanmaktadır (Batıbay 2008).

Ozon üretiminin iki temel yöntemi UV ışınları ve Corona deşarjıdır. Corona deşarjı; günümüzde en yaygın, en avantajlı ve endüstriyel ozon üretiminde de en sık kullanılan yöntemdir (Anonim 2004b). Corona deşarjı yönteminde sabit elektrik akımı verilerek, elektronların hızlanması sağlanır böylece oksijen molekülünün çift bağı parçalanır. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi parçalanan oksijen atomu tekrar oksijen molekülü ile birleşir ve ozonu oluşturur. Belli bir süre sonra kararsız olan ozon molekülü bir oksijen atomu ile birleşerek iki adet oksijen molekülü meydana getirir. Bu yöntem yüksek miktarlarda ozon üretimi sağlar (Kılıçer 2006).

Tipik bir Corona deşarjı jeneratörüne uygulanan elektrik enerjisinin sadece %5’i ozon üretiminde kullanılır. Elektrik enerjisinin büyük bölümü ısı, hararet olarak görülür ve önemsiz bir miktarı da ışık enerjisi olarak serbest kalır. Ozon gazı ısındığında, hemen oksijene dönüşeceğinden, jeneratörü yüksek derecede ısıdan korumak için etkili bir şekilde soğutma yapılmalıdır. Ozon reaktöründe yeterli soğutma yapılamadığı zaman üretilen ozonun bir kısmı da o oranda zarar görecektir (Anonim 2009b).

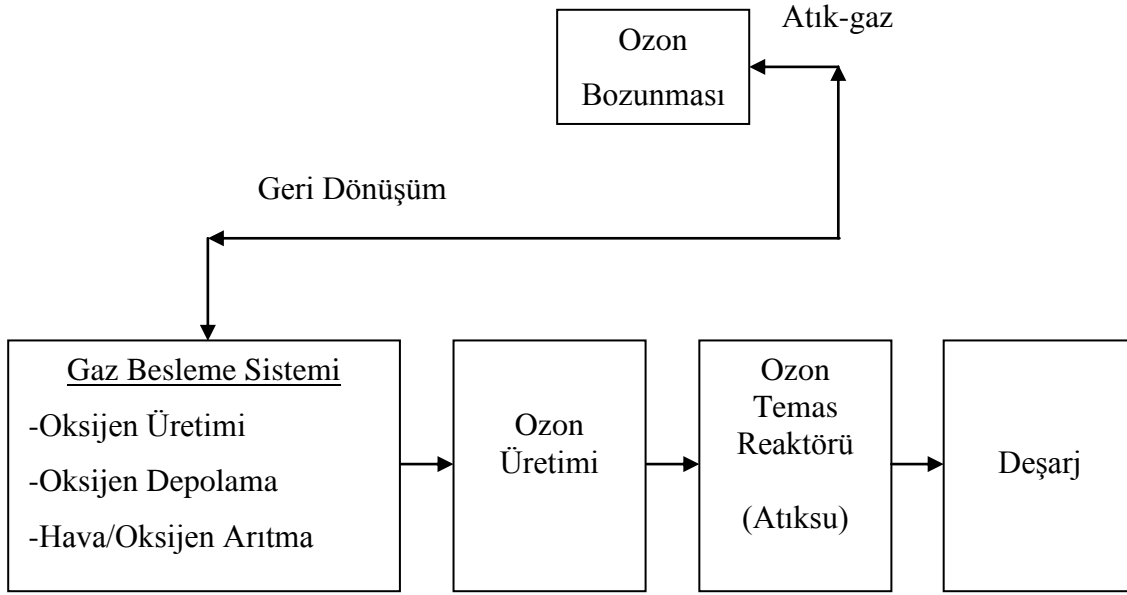


**Şekil 3.2.** Corona deşarjı yönteminin şematik gösterimi

### 3.3.3. Ozonun üretilmesi

Ozon gazı kararlı bir gaz olmadığı için çok kolay bozunur bu sebeple de üretildiği yerde depolanması ve kullanılması gerekmektedir.

Ozon dezenfeksiyon sisteminin içeriği; gaz–besleme sistemi, ozon jeneratörü, ozon temas reaktörü ve ozon bozunmasıdır. Ozon prosesinin şematik diyagramı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Ozon prosesinin şematik diyagramı (EPA 1999)

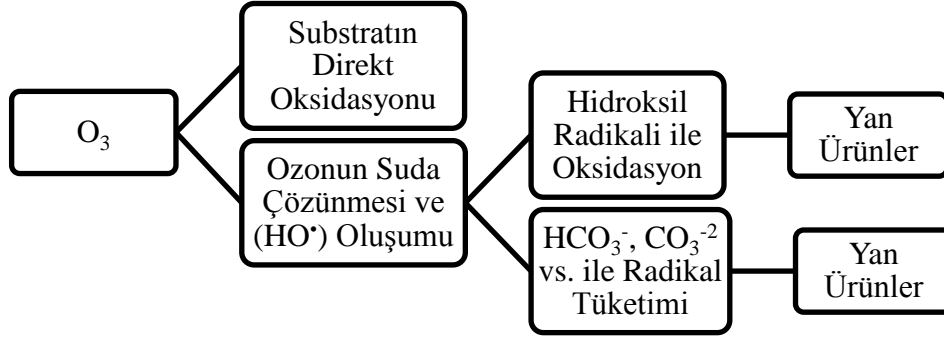
### 3.4. Ozonun Sudaki Reaksiyonları

Organik ve inorganik maddelerin ozonlama işlemi sırasındaki oksidasyonları, ozon gazı, HO<sup>•</sup> ya da ikisinin bileşimi yoluyla meydana gelmektedir. Oksidasyon yolu genelde ozon ve HO<sup>•</sup>'nın konsantrasyonları ile ilgilidir. Ozon yüksek seçiciliğe sahip elektrofilik bir gazdır (Guntun 2003). Ozonun direkt reaksiyon etkisi, oksijen atomunun reaktivitesi ile ortaya çıkarken, ozonun dolaylı reaksiyonlarında ise molekül yapısının bozunarak HO<sup>•</sup> gibi serbest radikaller oluşturması ve bu radikallerin, organik ve inorganik bileşikleri yüksek hızla okside etmesi şeklinde görülür (Önsoy 2007).

Ozon, suyun içerisinde iki şekilde reaksiyona girmektedir. Bunlar;

- Moleküler ozonun direkt oksidasyonu,
- Ozonun suda çözünmesi ile ortaya çıkan serbest hidroksil radikallerinin oksidasyonudur.

Şekil 3.4'te bu durum özetlenmiştir.



**Şekil 3.4.** Ozonlama esnasında substratların oksidasyon yolları (Güneş 2006)

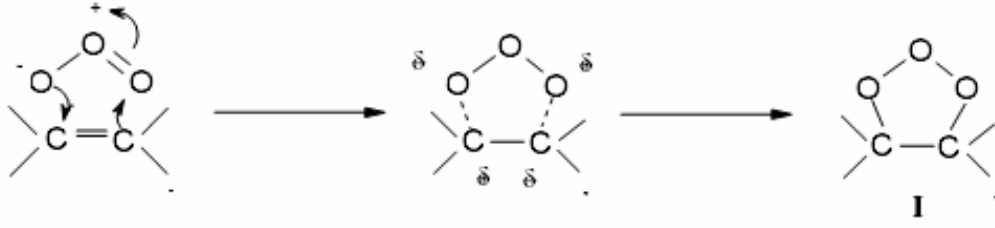
Ozon gazının direkt oksidasyonu, serbest HO• ile olan oksidasyondan daha yavaştır. Ancak ozon gazının sudaki konsantrasyonu, serbest hidroksil radikalının konsantrasyonundan daha yüksektir. Yapılan araştırmalar sonucunda:

- Ozon gazının direkt oksidasyonu asidik şartlarda daha baskındır.
- HO• ile oksidasyon ise yüksek pH, UV ışığı ve hidrojen peroksit yardımı ile baskın hale gelmektedir. Bunlar, genellikle oksidasyon verimini arttırmak için ileri oksidasyon prosesleri olarak kullanılan sistemlerdir (Güneş 2006).

### 3.4.1. Ozon gazının direkt reaksiyonları

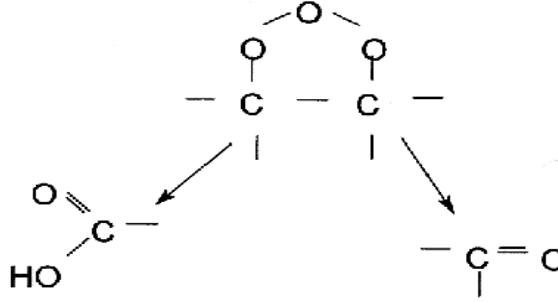
Moleküler ozonun direkt reaksiyonları 4 farklı gruba ayrılabilir (Beltrán 2004). Bunlar:

**Halka Eklenmesi Reaksiyonu (Criegee Mekanizması):** Dipolar yapısının sonucu olarak, ozon molekülü doymamış bağlarda 1-3 dipolar halka katılmasına neden olabilir, reaksiyon sonucunda primer ozonide (I) oluşur (Perincek 2006). Şekil 3.5'te doymamış bağlarda dipolar halka eklenmesi gösterilmiştir.



**Şekil 3.5.** Doymamış bağlarda dipolar halka eklenmesi (Igleisas 2002)

Suda ozonide yapı, karbonil bileşiklere (aldehit ve keton) ve zwitteriona (II) parçalanmaktadır. Zwitterion, hızlı bir şekilde hidroksi-hidroperoksit (III) adımına dönüşür ve buna bağlı olarak ta karbonil bileşikler ve hidrojen peroksiti parçalar (Ölmez 2006). Ozonide yapısının parçalanması Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

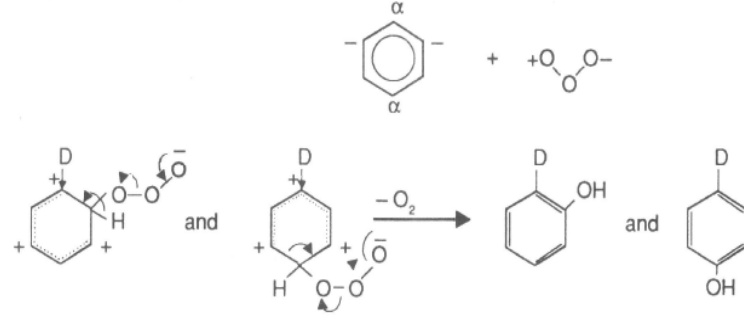


**Şekil 3.6.** Ozonide yapısının parçalanması (anonim 2004c)

**Elektrofilik Reaksiyonlar:** Elektrofilik reaksiyonlar, yüksek seviyede aromatik bileşikler ve güçlü elektronik yoğunluğa sahip olan moleküler çözeltilerde meydana gelir. Aromatik bileşiklerin yerine geçen elektron veren gruplar (OH ve NH<sub>2</sub> gibi benzer bileşikler), orto ve para pozisyonlarında karbon bileşikleri üzerinde yüksek elektronik yoğunluğa sahiptir. Sonuç olarak bu pozisyonlarda aromatik bileşikler ozon ile aktif olarak tepkimeye girer (Anonim 2004c).

Buna karşın, elektron alan gruplara (-COOH, -NO<sub>2</sub>) sahip aromatikler ise ozonla zayıf bir şekilde tepkime meydana getirir. Bu durumda ozon molekülünün ilk atağı, etkisi en az bırakılmış meta pozisyonunda başlıca yer almaktadır (Ölmez 2006). Şekil 3.7’de aromatik bileşikler ile ozonun elektrofilik reaksiyonu gösterilmiştir.

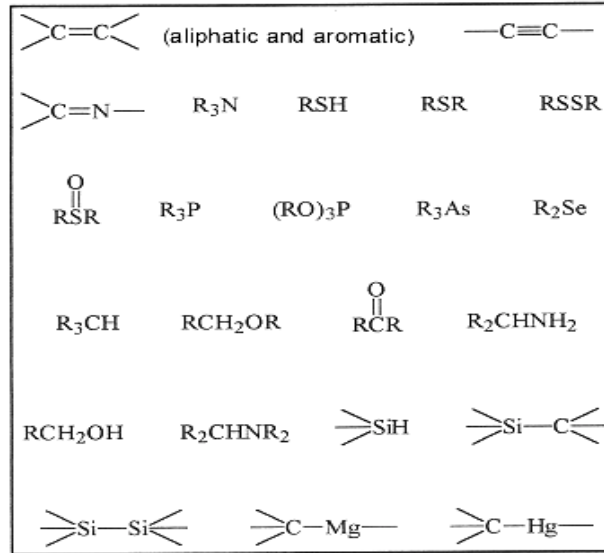




**Şekil 3.7.** Aromatik bileşikler ile ozonun elektrofilik reaksiyonu (Langlais ve ark. 1991)

**Nükleofilik Reaksiyonlar:** Nükleofilik reaksiyon, daha sık olarak elektron alan grupları taşıyan karbon atomlarında ve elektron eksikliğinde görülen moleküler yapılar üzerinde bölgesel olarak bulunabilmektedir (Ölmez 2006).

Ozon molekülünün merkezde yer almayan oksijen atomlarından birisinde negatif bir yük bulunur. Bu yük, teorik olarak ozon molekülüne nükleofilik bir karakter kazandırmaktadır. Bu sebeple ozon, elektrofilik özelliğe sahip moleküllerle reaksiyona girebilmektedir (Güneş 2006). Şekil 3.8’de aromatik bileşiklerin ozonlama sistemine uygunluğu gösterilmiştir.



**Şekil 3.8.** Aromatik bileşiklerin ozonlama sistemine uygunluğu (Iglesias 2002)

**Oksidasyon-Redüksiyon Reaksiyonları:** Redoks reaksiyonları elektronların bir maddeden (indirgen) diğer bir maddeye (oksidant, yükseltgen) transferi şeklinde karakterize edilmektedir. Bir kimyasal maddenin oksidasyon veya redüksiyon karakteri, standart redoks

potansiyeli ile verilmektedir. Ozon florür atomu, oksijen atomu ve hidroksil radikalinden sonra en yüksek redoks potansiyeline sahip bir gazdır. Yüksek redoks potansiyelinden dolayı, ozon molekülü birçok madde ile reaksiyon verebilme yeteneğine sahiptir. Bu reaktiflik özellikle,  $Fe^{+2}$  ya da  $I^-$  gibi inorganik maddelerle reaksiyonda önem kazanmaktadır. Bu tür reaksiyonların büyük bir bölümünde açık bir elektron transferi yoktur ama genellikle ozon molekülünden bir oksijen atomunun diğer maddeye transferi söz konusudur. Açık bir elektron transferinin olduğu reaksiyonların sayısı çok azdır ama ozon ile hidroperoksit iyonu arasındaki ve ozon ile süperoksit iyonu radikali arasındaki reaksiyonlar bu gruba dahil edilebilirler (Güneş 2006). Çizelge 3.2’de su ve atıksu arıtımında bazı oksidantların potansiyelleri verilmiştir (Beltrán 2004). Bu çizelgede  $HO^{\bullet}$ ’nın ozon gazına göre daha kuvvetli ve daha kararlı bir oksidant olduğu görülmektedir.

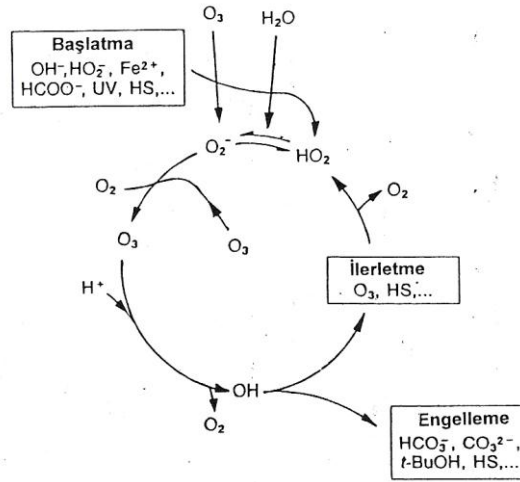
**Çizelge 3.2.** Su ve atıksu arıtımında bazı oksidantların oksidasyon potansiyelleri

Oksidant	Oksidasyon Potansiyeli ( $E^{\circ}$ , Volt)	Ozona Göre Rölatif Potansiyelleri
Florür ( $F_2$ )	3,06	1,48
Hidroksil Serbest Radikali ( $HO^{\bullet}$ )	2,8	1,35
Atomik Oksijen (O)	2,42	1,17
Ozon ( $O_3$ )	2,07	1
Hidrojen Peroksit ( $H_2O_2$ )	1,76	0,85
Hidroperoksit Radikali ( $HO_2^{\bullet}$ )	1,7	0,82
Permanganat İyonu ( $MnO_4^-$ )	1,68	0,81
Klordioksit ( $ClO_2$ )	1,5	0,72
Hipoklorik Asit ( $HOCl$ )	1,49	0,72
Klor ( $Cl_2$ )	1,36	0,65
Hipobromik Asit ( $HOBr$ )	1,33	0,64
Brom ( $Br_2$ )	1,07	0,51
Hipoyodik Asit ( $HOI$ )	0,99	0,47
İyot ( $I_2$ )	0,54	0,26
Oksijen ( $O_2$ )	0,4	0,19

### 3.4.2. Ozon gazının indirekt reaksiyonları

Ozon molekülünün bozunarak HO<sup>•</sup> gibi serbest radikaller oluşturması ve bu radikallerin organik ve inorganik bileşikleri yüksek hızla okside etmesi ozon gazının indirekt reaksiyonlarını göstermektedir (Deniz 2008). HO<sup>•</sup> gibi ürünlerin oluşması için yüksek sıcaklık ve pH'ın 7'den yüksek olması gereklidir (Anonim 2004c).

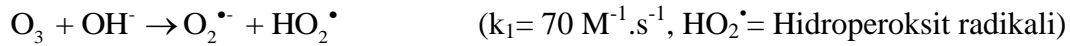
İndirekt reaksiyonlarda ozon oksidasyon prosesleri çok karmaşıktır. Ozonun bozunması, başlama reaksiyonu, radikal zincir reaksiyonu ve bitiş reaksiyonu olarak gerçekleşir. Şekil 3.9'da ozonun bozunma zinciri gösterilmiştir.



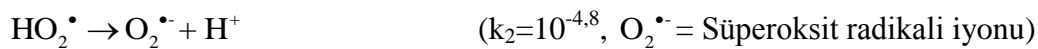
Şekil 3.9. Ozonun bozunma zinciri (Iglesias 2002)

#### Başlama Reaksiyonu

İlk reaksiyon, ozon bozunmasının hızlanmasını sağlamaktadır.

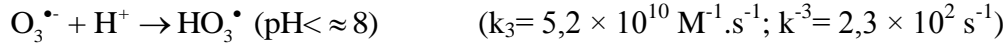
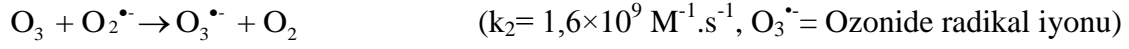


Bu radikal  $\text{pK}_a=4,8$ 'in asit/baz dengesine sahiptir. Süperoksit radikali oluşma reaksiyonu aşağıda gösterilmiştir.

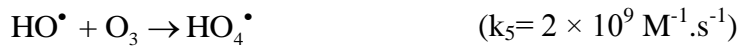


### Radikal Zincir Reaksiyonu (Çoğalma Reaksiyonu)

HO<sup>•</sup> oluşurken meydana gelen bu reaksiyon aşağıda gösterilmiştir.

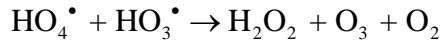
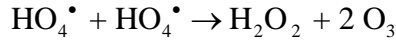


HO<sup>•</sup>, ozon ile reaksiyona girdiğinde oluşan mekanizma aşağıda gösterilmiştir.



HO<sub>2</sub><sup>•</sup>, tekrar başlatma reaksiyonuna dönerek süperoksit radikalini oluşturabilir (Anonim 2004b).

### Bitiş Reaksiyonu



Günümüzde Staehelin, Hoigne ve Buhler'in ortaya çıkardığı reaksiyon mekanizması genel olarak kabul görmesine rağmen, yüksek pH değerlerinde ise Tomiyasu, Fukutomi ve Gordon'un ortaya çıkardığı reaksiyon mekanizması daha doğru bulunmaktadır (Langlais ve ark. 1991, Beltrán 2004). Bu iki reaksiyon mekanizması Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te verilmiştir.

### 3.5. Ozonun Sudaki Kararlılığı

Ozon suda kararlı bir yapıya sahip değildir. Saf sulara ozonun bozunması, öncelikle çok hızlı bir şekilde parçalanması ile nitelendirilmiştir. Takip eden ikinci bölümde de ozon birinci derece reaksiyon ile parçalanmaya devam eder. Sayısız araştırmalar sonucunda başlangıç

reaksiyonlarının kinetiği ve mekanizmasının, ozonun bozunmasını gerektirdiği bulunmuştur. Su kalitesine bağlı olarak ozonun yarı ömrü saatlerle saniyeler aralığındadır. Ozonun suda bozunmasından ikincil oksidant olan HO<sup>•</sup> oluşmuştur. Ozonun kararlılığı su matrisine, özellikle pH, doğal organik maddelerin tipine-içeriğine ve suyun alkalinitesine bağlıdır. OH<sup>-</sup> iyonlarının ozon bozunmasını başlatmasında suyun pH'ı önemlidir (Gunten 2003).

**Çizelge 3.3.** Stahelin, Hoigne ve Bühler'e göre saf suda ozonun bozunma mekanizması

Reaksiyon	Hız Sabiti
Başlangıç Reaksiyonu	
$O_3 + OH^- \rightarrow HO_2^{\bullet} + O_2^{\bullet -}$	$70 M^{-1}sn^{-1}$
Çoğalma Reaksiyonu	
$HO_2^{\bullet} \rightarrow O_2^{\bullet -} + H^+$	$7,9 \cdot 10^5 M^{-1}sn^{-1}$
$O_2^{\bullet -} + H^+ \rightarrow HO_2^{\bullet}$	$5 \cdot 10^{10} M^{-1}sn^{-1}$
$O_3 + O_2^{\bullet -} \rightarrow O_3^{\bullet -} + O_2$	$1,6 \cdot 10^9 M^{-1}sn^{-1}$
$O_3^{\bullet -} + H^+ \rightarrow HO_3^{\bullet}$	$5,2 \cdot 10^{10} M^{-1}sn^{-1}$
$HO_3^{\bullet} \rightarrow O_3^{\bullet -} + H^+$	$3,3 \cdot 10^2 M^{-1}sn^{-1}$
$HO_3^{\bullet} \rightarrow HO^{\bullet} + O_2$	$1,1 \cdot 10^5 M^{-1}sn^{-1}$
$O_3 + HO^{\bullet} \rightarrow HO_4^{\bullet}$	$2 \cdot 10^9 M^{-1}sn^{-1}$
$HO_4^{\bullet} \rightarrow HO_2^{\bullet} + O_2$	$2,8 \cdot 10^4 M^{-1}sn^{-1}$
Bitiş Reaksiyonları	
$HO_4^{\bullet} + HO_4^{\bullet} \rightarrow H_2O_2^{\bullet} + 2O_3$	$5 \cdot 10^9 M^{-1}sn^{-1}$
$HO_4^{\bullet} + HO_3^{\bullet} \rightarrow H_2O_2^{\bullet} + O_3 + O_2$	$5 \cdot 10^9 M^{-1}sn^{-1}$

**Çizelge 3.4.** Tomiyasu, Fukutomi ve Gordon'a göre alkali ortamda saf suda ozonun bozunma mekanizması

Reaksiyon	Hız Sabiti
Başlangıç Reaksiyonu	
$O_3 + OH^- \rightarrow HO_2^- + O_2$	$40 M^{-1}sn^{-1}$
$O_3 + HO_2^- \rightarrow HO_2^\bullet + O_3^{\bullet-}$	$2,2 \cdot 10^6 M^{-1}sn^{-1}$
Çoğalma Reaksiyonu	
$HO_2^\bullet \rightarrow O_2^{\bullet-} + H^+$	$7,9 \cdot 10^5 M^{-1}sn^{-1}$
$O_2^{\bullet-} + H^+ \rightarrow HO_2^\bullet$	$5 \cdot 10^{10} M^{-1}sn^{-1}$
$O_3 + O_2^{\bullet-} \rightarrow O_3^{\bullet-} + O_2$	$1,6 \cdot 10^9 M^{-1}sn^{-1}$
$O_3^{\bullet-} + H_2O \rightarrow HO^\bullet + O_2 + OH^-$	$20-30 M^{-1}sn^{-1}$
$O_3 + HO^\bullet \rightarrow HO_2^\bullet + O_2^{\bullet-}$	$6 \cdot 10^9 M^{-1}sn^{-1}$
$O_3 + HO^\bullet \rightarrow HO_2^\bullet + O$	$3 \cdot 10^9 M^{-1}sn^{-1}$
$HO_2^- + H^+ \rightarrow H_2O_2$	$5 \cdot 10^{10} M^{-1}sn^{-1}$
$H_2O_2 \rightarrow HO_2^- + H^+$	$0,25 M^{-1}sn^{-1}$
Bitiş Reaksiyonları	
$O_3 + HO^\bullet \rightarrow O_3 + OH^-$	$2,5 \cdot 10^9 M^{-1}sn^{-1}$
$HO^\bullet + CO_3^{2-} \rightarrow OH^- + CO_3^{\bullet-}$	$4,2 \cdot 10^8 M^{-1}sn^{-1}$
$CO_3^{\bullet-} + O_3 \rightarrow O_2 + CO_2 + O_2^{\bullet-}$	---

### 3.6. Ozonun Bozunması

Ozon oldukça kısa yarı ömrü ile kararsız bir bileşik olduğu için, üretildiği zaman, hızlı bir şekilde bozunur.

Ozon, içme suyu şartları (pH: 6-8,5) altında suda kararsızdır ve  $HO^\bullet$  kısmen reaktiftir. Dolayısıyla ozonlama prosesi, ozon ve  $HO^\bullet$  olarak iki tür reaksiyon içerir.  $HO^\bullet$  çözelti içinde baskın molekül olduğu zaman, proses ileri oksidasyon prosesi olarak adlandırılır. Bozunma

reaksiyonlarının başlamasında, çoğalmasında ve bitişinde birçok etken olsa da başlamasında OH<sup>-</sup> iyonu temel rol oynar (Deniz 2008).

Ozonun suda bozunmasına yol açan faktörler: sıcaklık, pH, çözülmüş maddenin konsantrasyonu ve UV ışığıdır.

Ozonun bozunmasına etki eden faktörler aşağıda anlatılmıştır.

- **Sıcaklık Faktörü**

Sıcaklık, ozonun yarılanma ömründe en önemli faktördür. Ozonun sudaki yarı ömrü, gaz haldeki yarı ömründen çok daha kısadır ve ozon suda çok hızlı bozunur. Çizelge 3.5'te bu durum gösterilmiştir. Ozonun çözünürlüğü, yüksek sıcaklıkta azalır ve daha az kararlıdır. Diğer bir ifade ile reaksiyon hızı, 10°C'de 2 veya 3 faktör artar. Sıcaklık 40°C üzerinde olduğunda ise ozonun yarı ömrü çok kısa olduğu için ozon suda pratik olarak çözünmemektedir.

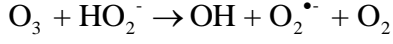
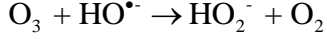
**Çizelge 3.5.** Ozonun farklı sıcaklıklarda gaz ve sudaki yarılanma ömrü (Anonim 2010)

Gaz Halde		Suda Çözülmüş Halde (pH 7)	
Sıcaklık	Yarı Ömür <sup>*</sup>	Sıcaklık	Yarı Ömür
-50°C	3 ay	15°C	30 dakika
-35°C	18 gün	20°C	20 dakika
-25°C	8 gün	25°C	15 dakika
20°C	3 ay	30°C	12 dakika
120°C	1,5 saat	35°C	8 dakika
250°C	1,5 saniye	---	---

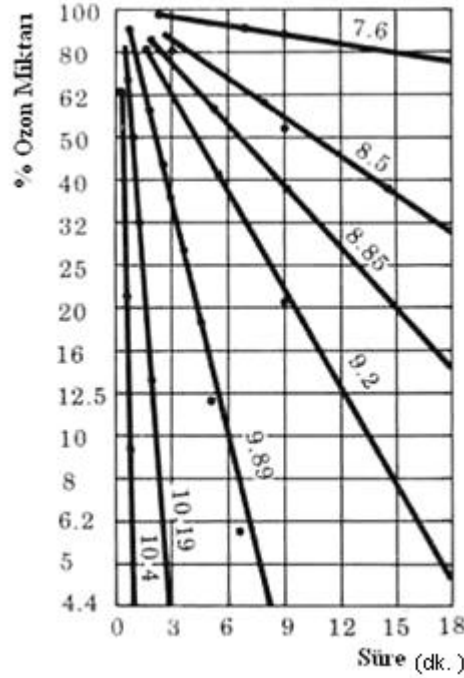
\*: Bu değerler sadece termal bozunmaya bağlıdır. Nem, organik yükleme veya diğer katalitik etkiler hesaba katılmamıştır.

- **pH Faktörü**

Yukarıda bahsedildiği gibi ozon kısmen HO<sup>•</sup>'da bozunur. pH değerleri arttığında HO<sup>•</sup>'nın oluşumu artar. Aşağıdaki formüllerde de görüldüğü gibi çözeltide, yüksek pH değerinde daha fazla hidroksil iyonu açığa çıkar. Hidroksil iyonları ozon bozunmasının başlamasına etki eder.



pH, bazı bileşiklerin asit/baz dengesini ve ozonun reaksiyon hızını etkiler. Şekil 3.10'da ozon bozunmasının bazik ortamda asit ortama göre daha hızlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.10. Ozonun bozunmasına pH'in etkisi (T= 15°C) (Anonim 2004d)

- **Çözünmüş Katı Maddelerin Konsantrasyonu Faktörü**

Çözünmüş ozon, organik bileşikler, virüsler, bakteriler gibi çeşitli maddelerle reaksiyona girebilir. Ozon, suda HO<sup>•</sup> yardımıyla bozunur. Çözünmüş maddenin saf olması, ozon bozunmasını hızlandırabilir veya yavaşlatabilir. Reaksiyonu hızlandırıcı maddeler destekleyiciler olarak, reaksiyonu yavaşlatan maddeler ise inhibitörler olarak tanımlanmıştır.



- **Karbonat ve Bikarbonat Faktörü**

Karbonat, güçlü etkisi olan bir radikal süpürücüsüdür. Radikal temizleyici olarak bilinen karbonat ve bikarbonat iyonları zincir reaksiyonunu yavaşlatır. Çünkü HO<sup>•</sup> ile radikal temizleyicilerin reaksiyonundan sonra oluşan reaksiyon ürünleri, ozon ile reaksiyona giremezler. Karbonatın ilave edilmesi, ozonun yarılanma ömrünü arttırabilir. Reaksiyon hızı, karbonatın düşük konsantrasyonlarında daha yüksektir. Ozonlama prosesi için 2 mmol/l ve ileri oksidasyon prosesleri için 3 mmol/l üzerinde olan karbonatın, reaksiyon hızına etkisi önemsizdir.

- **Doğal Organik Madde**

Doğal organik maddeler, her çeşit suda bulunur ve sıklıkla çözülmüş organik karbon gibi ölçülmektedir. Doğal organik maddeler, renk ve koku dikkate alındığında suyun kalitesini düşürür. Doğal organik maddelerin konsantrasyonlarının azaltılması için, ozon atıksu arıtımında kullanılabilir. Saf sularda doğal organik madde konsantrasyonu 0,2 ile 10 mg/l arasında değişebilir. Doğal organik maddenin ozon üzerine iki kat etkisi vardır. Ozon ile kolaylıkla reaksiyona giren bileşikler; çift bağlar, aktif aromatik bileşikler, protonu olmayan aminler ve sülfid'tir. Diğer bir ifadeyle, HO<sup>•</sup>, doğal organik maddelerle (indirekt reaksiyon) reaksiyona girebilir ve sonucunda da aktifleştirici veya engelleyici gibi davranabilir. Saf suda doğal organik maddelerin etkisi belirsiz olduğundan dolayı ozonun kararlılığını belirlemek te çok zordur (Anonim 2004d).

### **3.7. Ozonun Su ve Atıksu Arıtımında Kullanım Amaçları**

Ozon her ne kadar içme ve kullanma suyunun dezenfeksiyonunda kullanılan bir dezenfektan madde olarak bilinse de son zamanlarda atıksu arıtımında da kullanılması yaygınlaşmıştır.

Dünyanın birçok ülkesinde, içme sularının sterilizasyonunda ve şişe su üretimi yapan firmaların tamamında ozon kullanılmaktadır. Ozonun içme sularının sterilizasyonunda kullanılmasının en önemli nedeni, kısa sürede ve etkin bir dezenfeksiyon sağladıktan sonra oksijene dönüşerek ortamdaki ayrılması ve kalıntı bırakmamasıdır (Anonim 2009c).

Güneş (2006) ve Deniz (2008) tarafından yapılan araştırmalardan da yararlanılarak ozonun su, atıksu ve diğer alanlardaki kullanım amaçları Çizelge 3.6'da özetlenmiştir.

**Çizelge 3.6.** Ozonun su, atıksu ve diğer alanlarda kullanım amaçları

İçme Suyu	* İstenmeyen tad, koku ve renk giderimi
	* Bakteri ve virüs giderimi
	* Organik ve inorganik madde oksidasyonu
	* Pestisit gibi mikro kirleticilerin oksidasyonu
	* Demir ve Mangan oksidasyonu
	* Nitrit'in Nitrat'a oksidasyonu
	* GAC (Granül Aktif Karbon) vb. ile arıtmadan önce biyolojik parçalanabilirliğin artırılması
	* Dezenfeksiyonun artırılması
	* Dezenfeksiyon yan ürünlerin azaltılması
	* Koagülasyon, flokülasyon ve çökelme proseslerinin artırılması
	* Suların oksijen konsantrasyonunun artırılması
	Endüstri Kaynaklı Atıksular
* Detoksifikasyon	
* Deodorizasyon	
* Biyolojik arıtılabilirliğinin optimizasyonu (BOI/KOI oranının yükseltilmesi)	
Evsel Kaynaklı Atıksular	* Renk giderimi
	* Arıtılmış suyun dezenfeksiyonu
	* Deodorizasyon
Diğer Alanlar	* Tesislerde alg kontrolü
	* Soğutma kulelerinde Biyosid yerine ozon dozlanması
	* Gıda, meşrubat, ilaç gibi sanayilerde üretim ekipmanlarının temizliğinin ozonlu suyla yapılması
	* Yüzme havuzlarının ozonlanması
	* Hayvansal ürünlerin ambalajlanması esnasında ambalajlarının ozonlanması
	* Tekstil sektöründe kumaşın ağartılması için klor yerine ozon kullanılması
	* Kağıt sanayiinde ağartma amacıyla klor/klordioksit yerine ozon kullanılması
	* Tarım sektöründe toprak sterilizasyonunun ozonla yapılması
	* Soğuk hava depolarında sebze ve meyvelerin ömrünü uzatmak için ortam havasının ozonlanması
* Kapalı ortam, okul, hastane gibi hijyenin önemli olduğu ortamların ozon ile dezenfekte edilmesi	

### 3.8. Ozonlama Prosesinin Avantaj ve Dezavantajları

İçme sularının dezenfeksiyonu başta olmak üzere gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde pek çok alanda uygulanan ozonun avantaj ve dezavantajları aşağıda anlatılmıştır.

#### 3.8.1. Ozonlama prosesinin avantajları

Ozonlama prosesinin avantajlarından en belirgin olanları aşağıda sıralanmıştır.

- Ozon, virüs ve bakterilerin yok edilmesinde klordan daha etkili bir oksidanttır.
- Ozonlama prosesleri, 10 ile 30 dk. arasında kısa temas süresine sahiptir. Dolayısıyla yer ihtiyacı da küçüktür.
- Ozonlama prosesinde ozon hızlı bir şekilde parçalandığı için geriye zararlı bir kalıntı bırakmamaktadır.
- Klorlama prosesi sonucunda oluşan klorlu hidrokarbonlar, kloraminler, klorofenoller gibi zararlı yan ürünler oluşturmamaktadır.
- Ozonlama prosesi, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında da oldukça etkilidir (Kocaer ve Alkan 2002).
- Ozonun dezenfektan özelliği diğer dezenfektan maddelere göre daha iyi olduğu için ozonlama prosesinden sonra atıksuda mevcut olanların haricinde, mikroorganizmalar tekrar üreyememektedir.
- Ozon yerinde üretildiği için taşıma ve yükleme ile ilgili güvenlik problemleri daha azdır.
- Ozon ihtiyaç kadar üretilip kullanılacağı için depolama sorunu da olmamaktadır.
- Ozonlama, deşarj suyunda çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artırır. Bu artış tekrar havalandırma ihtiyacını ortadan kaldırır ve alıcı ortamdaki çözünmüş oksijen seviyesini artırır.
- Çoğu organik ve inorganik kirleticiler, suda ozonlama ile zararsız bileşiklere ve maddelere ayrıştırılır. Ayrışan zararsız madde ve bileşikler, sonrasında çöktürme, filtrasyon ve biyolojik prosesler gibi konvansiyonel metotlarla kolayca uzaklaştırılabilir.

Tekstil endüstrisi gibi birçok endüstride ozonun kullanılmasının; kimyasal sarfiyatını azaltması, işlem süresini kısaltması ve işletme maliyetini düşürmesi gibi avantajları vardır.

### **3.8.2. Ozonlama prosesinin dezavantajları**

Ozonlama prosesinin dezavantajlarından en belirgin olanları şu şekildedir:

- Ozonun düşük miktardaki dozu, bazı virüs, spor ve kistleri etkisiz hale getirmede yeterli değildir.
- Ozon su içinde hızlı bir şekilde bozduğundan dolayı suda bakiye kalmamaktadır. Dolayısıyla içme suyu dezenfeksiyonunda ozon kullanıldıktan sonra son klorlama işlemi yapılmalıdır.
- Ozonlama prosesinin verimi su kalitesine bağlıdır. Yüksek konsantrasyonlarda organik maddelerin olduğu bir ortamda verim önemli ölçüde azalır, ozon tüketimi artabilir. Çünkü ozonun okside etme etkileri seçici değildir ve ozonun büyük bir kısmı hedef dışı bileşiklere gitmektedir (Güneş 2006).
- Ozonlama prosesi alkali ortamda daha verimli olur.
- Ozonlama sistemi, klor ve UV dezenfeksiyonuna göre çok karışık bir yapıya sahiptir.
- Ozon, çok reaktif ve koroziftir. Bu sebeple paslanmaz çelik gibi korozyona dirençli malzemelere ihtiyaç vardır.
- Atıksuda yüksek olan askıda katı madde, biyolojik oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı ve toplam organik karbon gibi parametrelerin giderilmesinde ozonlama prosesinin tek başına kullanılması ekonomik değildir. Bu sebeple atıksu arıtma sistemlerinde yardımcı bir işlem olarak kullanılmalıdır.
- Ozonlama prosesi sonucunda klorlu zararlı bileşikler oluşmasa da aldehitler, ketonlar, peroksitler, karboksilik asitler, ortamda bromid varsa bromat gibi bazı yan ürünler meydana gelir.
- Arıtma maliyetinde yatırım ve enerji maliyeti oldukça yüksek olduğu için küçük tesislerde tercih edilmemektedir.

Ozonlama prosesi ile atıksu arıtımını etkileyen bazı maddeler aşağıda verilmiştir (Güneş 2006).

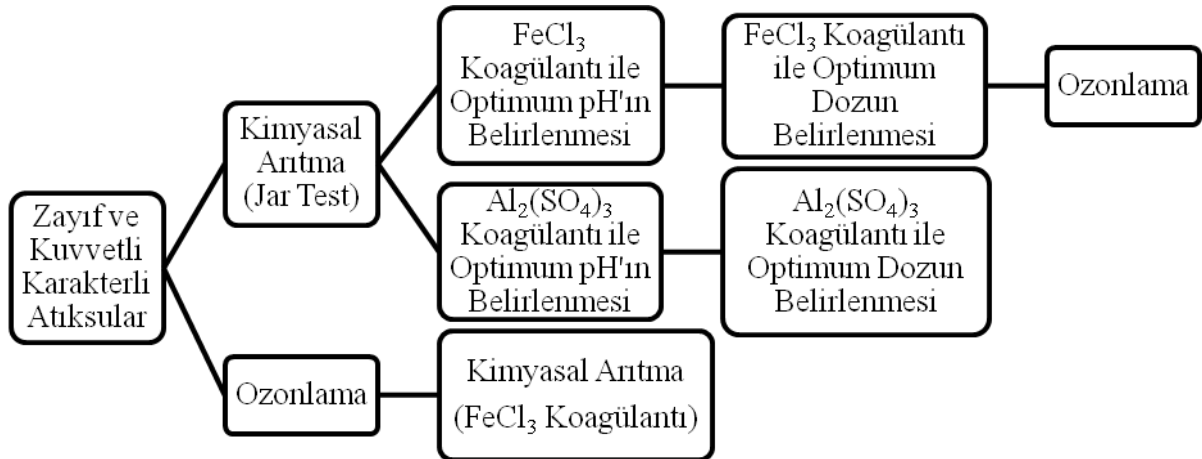
Atıksu karakterizasyonu, ozonlama prosesinin ekonomikliğini ve uygunluğunu tespit eden temel faktördür.

- Atıksu pH'ı ve sıcaklığı, ozon reaktivitesinin etkinliğini kontrol etmektedir. Ozon asidik ortamda hidrosit iyonlarının yardımı ile ozondan oluşan katalitik dekompozisyondan dolayı daha stabildir. Bununla birlikte pH, ozonla belirli bileşiklerin reaktivitesini etkileyebilir. Sıcaklık, ozonun çözünebilirliğini ve stabilitesini etkilediği için atıksu sıcaklığının artması ozon stabilitesinin artması ile sonuçlanır.
- Atıksuyun karakteri, istenilen kimyasal oksidasyon seviyesi ve ozon atıksu kontaktörünün verimi, spesifik atıksu için ozon temas süresini yani ozon dozunu belirler.
- Atıksuyun ozonla temas mekanizması; ekonominin, ozonlama derecesinin ve ulaşılmak istenen standardın bir fonksiyonudur.

#### 4. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışma sırasında iki farklı endüstriden alınan zayıf ve kuvvetli karakterli atıksuların arıtılabilmesi için kurulan deneysel plan, seçilen endüstriler ve deneylerin yapılışı bu bölümde anlatılmıştır. Şekil 4.1’de deneysel planın şematik gösterimi verilmiştir.

##### 4.1. Deneysel Plan



Şekil 4.1. Deneysel plan

##### 4.2. Seçilen Endüstrilerin Tanımı

Tez çalışmasında, karakterizasyonları farklı iki tesisten alınan atıksulardan yararlanılmıştır. İlk tesisin atıksu karakterizasyonu, ikinci tesisten alınan atıksuların karakterizasyonuna göre çok düşüktür.

###### 4.2.1. S.S. Dokuzhöyük Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi

S.S. Dokuzhöyük Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi, Kırklareli İli, Dokuzhöyük Köyü’nde kurulu ve faal halde bulunmaktadır. Dokuzhöyük Köyü, ismini halk dilinde höyük olarak bilinen, insanlar tarafından oluşturulmuş, içerisinde mezar bulunan küçük yığma tepeciklerden yani tümülüslerden almıştır. Şekil 4.2’de S.S. Dokuzhöyük Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi’nin dış görünüşü yer almaktadır.



**Şekil 4.2.** S.S. Dokuzhöyük Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi'ne ait mandıranın dışarıdan bir görünüşü

Mandırada köy halkından 9 kişi, 06.00–16.00 saatleri arasında, 360 gün kesintisiz olarak çalışmakta ve çalışan sayısında mevsimlere bağlı olarak herhangi bir değişiklik olmamaktadır.

Tesiste kullanılan hammaddeler ve yıllık kullanım miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Kullanılan hammaddeler ve yıllık kullanım miktarları

<b>Kullanılan Hammaddeler</b>	<b>Yıllık Kullanım Miktarı</b>
Süt	2.100 ton/yıl
Maya	252 kg/yıl
Tuz	34,650 ton/yıl
Teneke Kutu	17.325 adet/yıl

Dokuzhöyük Köyü'nde yetiştirilen hayvanlardan elde edilen sütler, S.S. Dokuzhöyük Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi'ne verilerek beyaz peynir ve lor üretimi yapılmaktadır. Dokuzhöyük peynirleri marka olmayı başarmıştır ve Trakya'da aralarında İstanbul'da olmak üzere büyük şehirlere satış yapılmaktadır (Anonim 2007). Tesiste üretilen ürünler ve yıllık kullanım miktarları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Üretilen ürünler ve yıllık kullanım miktarları

Üretilen Ürünler	Yıllık Kullanım Miktarı
Beyaz Teneke Peynir	23,358 ton/yıl
5 kg Beyaz Peynir	2,544 ton/yıl
3 kg Beyaz Peynir	9,966 ton/yıl
Lor	960 ton/yıl

#### 4.2.2. Gündüzler Mandıracılık Suni Yem San. Tic. Ltd. Şti.

Gündüzler Mandıracılık, Kırklareli İli, Armağan Köyü'nde kurulu ve faaliyet halinde bulunmaktadır. Şekil 4.3'te Gündüzler Mandıracılık fabrikasının dış görünüşü yer almaktadır.



**Şekil 4.3.** Gündüzler Mandıracılık fabrikasının dışarıdan bir görünüşü

Mandırada, köy halkından ortalama 23 kişi, 06.30 – 16.30 saatleri arasında, 365 gün kesintisiz olarak çalışmakta ve tesiste çalışan sayısında mevsime bağlı değişiklikler de olmaktadır. Bu mandıraya özgü olan Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında üretim arttığı için işçilikte artmaktadır. Dolayısıyla tesiste çalışan kişi sayısı, Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında ortalama 30 kişi, Ocak, Şubat, Mart, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık aylarında ise ortalama 23 kişi olmaktadır.



Tesiste kullanılan hammaddeler ve yıllık kullanım miktarları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Kullanılan hammaddeler ve yıllık kullanım miktarları

Kullanılan Hammaddeler	Yıllık Kullanım Miktarı
Süt	6.240,00 ton/yıl
Tuz	106,785 ton/yıl
Teneke Kutu	53.392,00 adet/yıl
Streç	11,750 kg/yıl

Tesiste üretilen ürünler ve yıllık kullanım miktarları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Üretilen ürünler ve yıllık kullanım miktarları

Üretilen Ürünler	Yıllık Kullanım Miktarı
Beyaz Peynir	1.029,600 kg/yıl
Tereyağı	7,839 ton/yıl
Lor Peyniri	38,250 ton/yıl

### 4.3. Zayıf ve Kuvvetli Karakterdeki Atıksuların Karakterizasyonu

Deneysel çalışmalar için farklı tarihler de zayıf ve kuvvetli karakterli atıksuların bulunduğu tesislerden üçer tane numune alınmıştır. Numuneler, her iki firmanın mevcut atıksu arıtma tesisinin dengeleme havuzundaki atıksuyun, hızlı karıştırma havuzuna basıldığı pompadan alınmıştır.

Zayıf ve kuvvetli karakterli atıksuların karakterizasyon çalışmaları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Zayıf ve kuvvetli karakterdeki atıksuların karakterizasyonu

Parametre	ZN <sub>1</sub>	ZN <sub>2</sub>	ZN <sub>3</sub>	KN <sub>1</sub>	KN <sub>2</sub>	KN <sub>3</sub>
Kimyasal Oksijen İhtiyacı, KOİ	487 (mg/l)	500 (mg/l)	457 (mg/l)	9430 (mg/l)	10290 (mg/l)	9996 (mg/l)
Yağ-Gres	27 (mg/l)	32 (mg/l)	24 (mg/l)	346 (mg/l)	354 (mg/l)	298 (mg/l)
pH	6,6	7,0	6,8	7,2	6,6	7,1

Atıksuya uygulanan arıtma alternatifleri ve notasyonları Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Zayıf ve kuvvetli karakterli atıksuya uygulanan arıtma alternatifleri ve notasyonları

<b>Zayıf ve Kuvvetli Karakterli Ham Atıksu</b>		
<b>Birinci Numune</b>	<b>ZN<sub>1</sub></b>	<b>KN<sub>1</sub></b>
Birinci numuneye uygulanan arıtma kombinasyonları:		
Numunenin ozonlanması	ZN <sub>1</sub> O	KN <sub>1</sub> O
Numunenin FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtılması	ZN <sub>1</sub> K <sub>FeCl3</sub>	KN <sub>1</sub> K <sub>FeCl3</sub>
Numunenin Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile kimyasal arıtılması	ZN <sub>1</sub> K <sub>Al2(SO4)3</sub>	KN <sub>1</sub> K <sub>Al2(SO4)3</sub>
Numunenin ozonlama sonrası kimyasal arıtımı	ZN <sub>1</sub> OK <sub>FeCl3</sub>	KN <sub>1</sub> OK <sub>FeCl3</sub>
Numunenin kimyasal arıtımı sonrası ozonlama	ZN <sub>1</sub> K <sub>FeCl3</sub> O	KN <sub>1</sub> K <sub>FeCl3</sub> O
<b>İkinci Numune</b>	<b>ZN<sub>2</sub></b>	<b>KN<sub>2</sub></b>
İkinci numuneye uygulanan arıtma kombinasyonları:		
Numunenin ozonlanması	ZN <sub>2</sub> O	KN <sub>2</sub> O
Numunenin FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtılması	ZN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub>	KN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub>
Numunenin Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile kimyasal arıtılması	ZN <sub>2</sub> K <sub>Al2(SO4)3</sub>	KN <sub>2</sub> K <sub>Al2(SO4)3</sub>
Numunenin ozonlama sonrası kimyasal arıtımı	ZN <sub>2</sub> OK <sub>FeCl3</sub>	KN <sub>2</sub> OK <sub>FeCl3</sub>
Numunenin kimyasal arıtımı sonrası ozonlama	ZN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub> O	KN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub> O
<b>Üçüncü Numune</b>	<b>ZN<sub>3</sub></b>	<b>KN<sub>3</sub></b>
Üçüncü numuneye uygulanan arıtma kombinasyonları:		
Numunenin ozonlanması	ZN <sub>3</sub> O	KN <sub>3</sub> O
Numunenin FeCl <sub>3</sub> ile kimyasal arıtılması	ZN <sub>3</sub> K <sub>FeCl3</sub>	KN <sub>3</sub> K <sub>FeCl3</sub>
Numunenin Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ile kimyasal arıtılması	ZN <sub>3</sub> K <sub>Al2(SO4)3</sub>	KN <sub>3</sub> K <sub>Al2(SO4)3</sub>
Numunenin ozonlama sonrası kimyasal arıtımı	ZN <sub>3</sub> OK <sub>FeCl3</sub>	KN <sub>3</sub> OK <sub>FeCl3</sub>
Numunenin kimyasal arıtımı sonrası ozonlama	ZN <sub>3</sub> K <sub>FeCl3</sub> O	KN <sub>3</sub> K <sub>FeCl3</sub> O

Çalışma sırasında atıksuya, kimyasal arıtma (koagülasyon–flokülasyon) ve ozonlamanın çeşitli kombinasyonları uygulanmıştır.

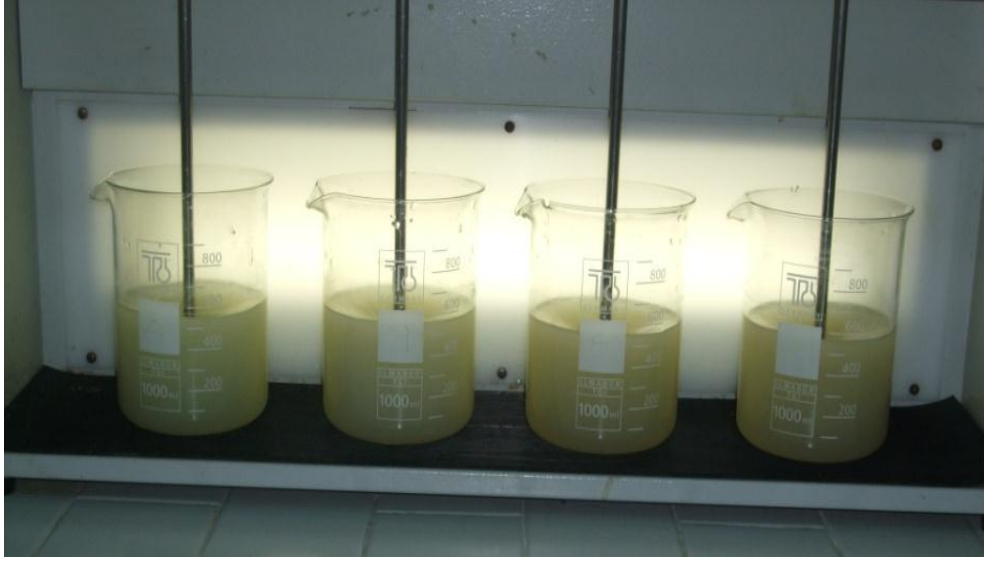
Deneysel çalışmanın aşamaları şu şekilde özetlenebilir:

1. Koagülasyon-flokülasyon alternatiflerinin irdelenmesi,
2. Ozonlamanın irdelenmesi,
3. Koagülasyon-flokülasyon ve ozonlama kombinasyonlarının incelenmesidir.

#### **4.3.1. Kimyasal arıtma (koagülasyon – flokülasyon)**

Zayıf ve kuvvetli karakterli atıksuların kimyasal arıtma deneyleri için dörtlü jar-test cihazı kullanılmıştır. Deneylerde koagülant madde olarak  $\text{FeCl}_3$  ve  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  kimyasalları tercih edilmiştir. Bu çözeltiler %10'luk solüsyonlar halinde hazırlanmış ve pH ayarlaması içinde çeşitli normalitelerdeki  $\text{NaOH}$  ve  $\text{H}_2\text{SO}_4$  çözeltileri kullanılmıştır. Ayrıca yumaklaştırma işleminde, polielektrolit kullanılmıştır. Tüm numuneler için uygulanan jar testler sırasında izlenen basamaklar aşağıda sıralanmıştır.

1. Birinci adım olarak ham atıksuyun KOI parametresi ölçülmüştür.
2. Dört tane beher içerisine 500 ml ham atıksu konulmuştur.
3. Seçilen koagülantlar ( $\text{FeCl}_3$  ve  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) minimum flok oluşumu gözleninceye kadar 1000 ml'lik beherin içinde bulunan numuneye dozlanmıştır.
4. Beherlerdeki atıksuların pH'ları, çeşitli normalitelere olan  $\text{NaOH}$  veya  $\text{H}_2\text{SO}_4$  çözeltileri yardımıyla sırasıyla 4, 5, 6, 7 olarak ayarlanmıştır.
5. pH ayarlamaları biten numuneler, 2 dk. hızlı karıştırma işlemine (200 rpm) tabi tutulmuşlardır.
6. Daha sonra numunelere 15 dk. yavaş karıştırma işlemi (45 rpm) uygulanmıştır. Yavaş karıştırma işleminin başında beherlere %0.1'lik hazırlanan anyonik polielektrolit çözeltisinden ilave edilmiştir.



**Şekil 4.4.** Numunelerin hızlı ve yavaş karıştırma anı

7. Karıştırma işleminden sonra numuneler 30 dakika çökmeye bırakılmıştır.



**Şekil 4.5.** Numunelerin çökme için bekleme anı

8. Çökme işlemi tamamlandıktan sonra üst suda yapılan KOI ölçümleri sonucu, optimum pH'a karar verilmiştir.



**Şekil 4.6.** Numunelerin  $\text{FeCl}_3$  ile çökme sonrası durumları

9. En uygun pH belirlendikten sonra zayıf ve kuvvetli karakterli atıksulardan 500 ml numune alınarak, dört adet behere ilave edilmiştir.
10. Seçilen koagülanntan zayıf karakterli atıksular için;  $\text{FeCl}_3$  koagülanntının 3. adımda tespit edilen miktarının %20'si ile %180'i arasındaki miktarlar beherlere ilave edilmiştir.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  koagülanntı için ise 3. adımda tespit edilen miktarının %150'si ile %300'ü arasındaki miktarlar beherlere ilave edilmiştir.
11. Seçilen koagülanntan kuvvetli karakterli atıksular için;  $\text{FeCl}_3$  koagülanntının 3. adımda tespit edilen miktarının %200'ü ile %500'ü arasındaki miktarlar beherlere ilave edilmiştir.  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  koagülanntı için ise 3. adımda tespit edilen miktarının %65'i ile %500'ü arasındaki miktarlar beherlere ilave edilmiştir.
12. Hem zayıf hem de kuvvetli karakterli atıksular için ayrı ayrı belirlenen koagülanntlar ile beher içindeki atıksular karıştırılmış ve hepsinin pH'ı 8. adımda belirlenen optimum pH değerine getirilmiştir.
13. Optimum pH değerine ayarlanan numuneler 2 dk. hızlı karıştırma işlemine (200 rpm) tabi tutulmuşlardır.
14. Daha sonra numunelere 15 dk. yavaş karıştırma işlemi (45 rpm) uygulanmıştır. Yavaş karıştırma işleminin başında beherlere, %1'lik hazırlanan anyonik polielektrolit çözeltisinden ilave edilmiştir.

15. Numuneler çöktükten sonra üst sularından numune alınarak KOI parametresinin ölçümü yapılmış ve optimum koagülant dozları da tespit edilmiştir.

#### 4.3.2. Ozonlama

Ozonlama düzeneği ozon jeneratörü, reaktör, hava pompası ve yıkama şişesinden oluşmaktadır. Reaktörde üç tane musluk yapısı bulunur. Bu musluklardan bir tanesi boru ile hava pompasına, diğeri ise yıkama şişesine bağlıdır. Kalan bir tane musluk ise numune almak için kullanılır. Tüm boru hatları musluklara bağlandıktan sonra vanalar kontrol edilir. Yıkama şişesine ve hava pompasına bağlı olan vanalar açık konuma getirilirken, numune almak amacı ile kullanılan vana ise kapalı konumda tutulur. Tüm düzenek yapısı kontrol edildikten sonra deneye başlanır. Ozonlama deney düzeneği Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Laboratuvar ölçekli ozonlama sisteminin bir görünüşü

#### Deneyin Yürütülüşü:

Adı geçen kesikli deney düzeneğinde atıksuyun ozon ile oksidasyonu için aşağıdaki maddeler takip edilmiştir:

- 4 l'lik reaktör yeterli miktarda atıksu ile doldurulur.
- Yıkama şişesi 30 g/l'lik KI (potasyum iyodür) ile doldurulur.
- Ozon jeneratörü üzerindeki akımölçer 10 l/dk.lık akış hızına ayarlanır.
- Hava pompası çalıştırılır.

- Ozon jeneratörü açılır.
- 15, 30, 45, 60, 90, 150, 210 ve 240 dk.lık sürelerde örnekleme yapılır.
- Planlanan süre sonunda ozonlama durdurulur, ozonlanmış numune bir kaba alınır ve ozonlanmış atık diğer amaçlar için kullanılır.
- Reaktör temizlenir. Aynı işlem birkaç kez tekrar edilir.
- Bu işlemlerin öncesinde, ozon üretim akımını ölçmek için KI çözeltilerinden geçirilen ozon akımı ölçülmüş olmalıdır.

#### 4.3.2.1 Ozon hesaplama yöntemi

Bir atıksuyun ozonlanmasında aşağıdaki hesaplama yöntemleri ile değerlendirmeye ulaşılabilir.

Giriş akımındaki O<sub>3</sub> gazının miktarı, atıksuya temas etmeden önce jeneratörden gelen O<sub>3</sub> akım hızının geçirildiği yıkama şişesinden elde edilen ölçüm sonucu ile hesaplanır.

Giriş O<sub>3</sub> gazı miktarı: 0,1 N 1 ml Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 2,4 mg ozon (APHA 1992)

$$\text{Giriş Gaz Akımındaki Ozonun Konsantrasyonu} = \frac{\text{Giriş Ozon Miktarı (mg)}}{\sum \text{Gaz Hacmi (l)}}$$

#### Uygulanan ΣO<sub>3</sub> Miktarı:

$$\text{Uygulanan } \Sigma \text{O}_3 \text{ Miktarı (mg O}_3\text{)} = \Sigma \text{O}_3 \text{ konsantrasyonu (mg O}_3\text{/l)} \times \Sigma \text{gaz hacmi (l)}$$

#### Harcanan O<sub>3</sub> için Verim Hesabı:

$$\text{Kalan } \Sigma \text{O}_3 \text{ (mg)} = \text{Yıkama Şişesi (mg)}$$

$$\text{Uygulanan } \Sigma \text{O}_3 \text{ (mg)}$$

#### Harcanan Ozonun Verimi:

$$\text{Harcanan O}_3 \text{ Yüzdesi (\%)} = \frac{\text{Uygulanan } \Sigma \text{O}_3 - \text{Kalan } \Sigma \text{O}_3}{\text{Uygulanan } \Sigma \text{O}_3}$$

#### **Atıksuya Kullanılan O<sub>3</sub> Konsantrasyonu:**

$$\text{Kullanılan O}_3 \text{ Miktarı (mg)} = \text{Uygulanan } \sum \text{O}_3 - \text{Kalan } \sum \text{O}_3$$

Toplam Atıksu Hacmi, litre

$$\text{Atıksuya Kullanılan O}_3 \text{ Konsantrasyonu (mg/l)} = \frac{\text{Kullanılan O}_3 \text{ Miktarı (mg)}}{\text{Toplam Atıksu Hacmi (l)}}$$

#### **Ozon Dozu:**

Toplam Kullanılan Titrant Miktarı (ml) = Yıkama Şişesi için Titrant Miktarı (ml)

$$\text{Ozon Dozu (mg/dk.)} = \frac{\sum \text{Kullanılan Titrant Miktarı (ml)} \times \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ Normalitesi} \times 24}{\text{Ozonlama Süresi (dk.)}}$$

#### **4.3.2.2. Giriş gaz akımında bulunan ozon gazının belirlenmesi**

Ozon jeneratörünün ticari olarak verilen üretim kapasitesi, oksijen tüpü ile 4 g/saat, kuru hava ile 2 g/saat'tir. Ortam havası ile üretilen ozon miktarı, KI çözeltisinden ozon geçirmek suretiyle ölçülmüş ve 1 g/saat olarak bulunmuştur. Tüm deneylerde bu akıyla hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamalar ile giriş akımındaki O<sub>3</sub> miktarının kontrolü yapılmış ve bu miktar ile atıksuya harcanan O<sub>3</sub> miktarının hesaplanmasına geçilmiştir.

#### **4.4. Ölçüm ve Analiz**

Deneylerde pH ayarlaması, WTW pH 315i marka pH ölçerle yapılmıştır. KOI ölçümleri uygun ölçüm aralığına sahip Hach Lange marka spektrofotometrik test kitleri ile yapılmıştır. Numunelerin ön hazırlığı için Hach Lange LT200 marka termoreaktör kullanılmış, analizler Hach Lange DR2800 marka spektrofotometre ile yürütülmüştür. Yıkama şişesindeki ozon gazı miktarı Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> titrasyonu ile Standart Metotlara göre yapılmıştır (APHA 1992). Kullanılan bütün kimyasallar analitik saflıktadır.



## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Materyal ve yöntem kısmında anlatılan deneysel plan doğrultusunda yapılan çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

### Zayıf Karakterli Atıksular

#### 5.1. ZN<sub>1</sub>'in Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları

Zayıf karakterli atıksu numunelerinden I. numuneye uygulanan koagülasyon-flokülasyon işlemi, ozonlama işlemi, koagülasyon-flokülasyon + ozonlama işlemi ve son olarak ta ozon + koagülasyon-flokülasyon işlemi sonuçları aşağıda verilmiştir.

##### 5.1.1. Koagülasyon - flokülasyon sonuçları

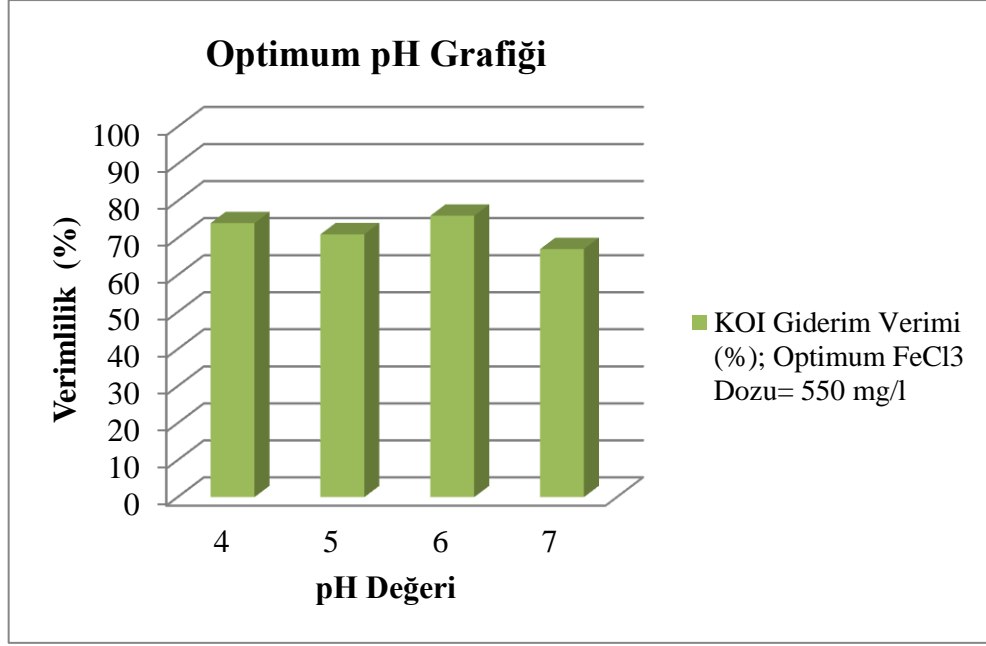
Dördüncü bölümde de anlatıldığı gibi farklı iki endüstriye ait zayıf ve kuvvetli karakterli atıksu numuneleri için kimyasal arıtma prosedüründe öncelikle FeCl<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kimyasalları ile optimum pH tespiti yapılmıştır. Optimum pH tespit edildikten sonra da optimum doz belirlenmiştir.

ZN<sub>1</sub> için elde edilen optimum pH verileri Çizelge 5.1'de verilmektedir.

**Çizelge 5.1.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması

ZN <sub>1</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %0,1'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	487	550	127	%74
5	487		143	%71
6	487		116	%76
7	487		161	%67

Çizelge 5.1'den görüldüğü gibi % 10'luk FeCl<sub>3</sub> için optimum pH= 6 olarak tespit edilmiştir. Bu durum aynı zamanda Şekil 5.1'de verilen optimum pH grafiğinden de görülmektedir.



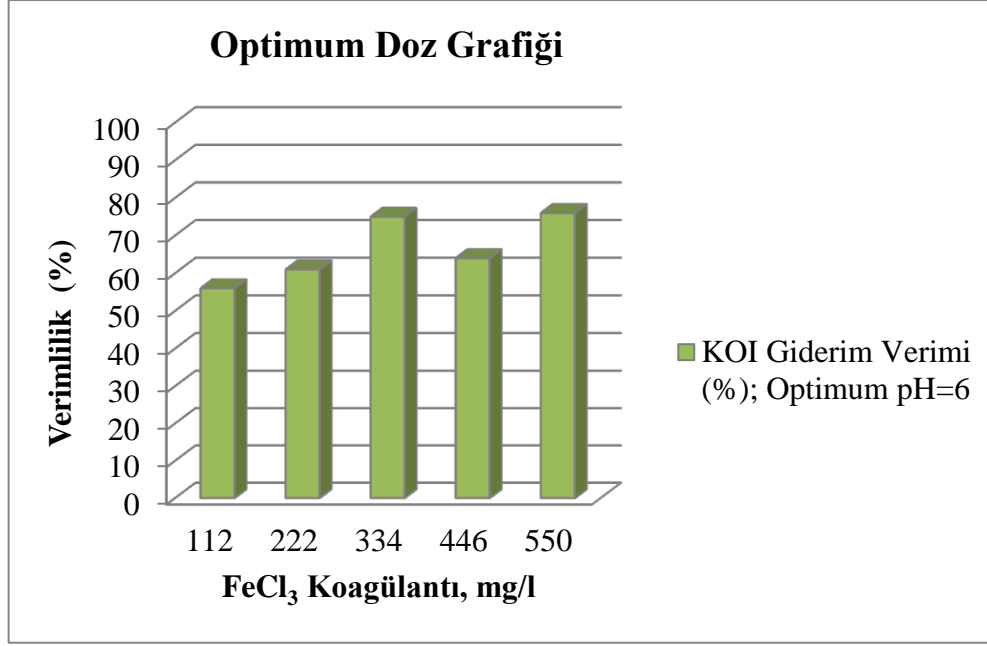
**Şekil 5.1.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

Bu sonuçlara göre optimum dozaj tespitine geçilmiştir. Zayıf karakterli atıksuyun birinci numunesinde % 10'luk FeCl<sub>3</sub> + NaOH için yapılan deneylerin sonuçları izelge 5.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.2.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum doz alışması

ZN <sub>1</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %01'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>ıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
6	487	112	213	%56
6	487	222	190	%61
6	487	334	122	%75
6	487	446	177	%64
6	487	550	116	%76

Zayıf karakterli atıksu karakterizasyonuna sahip birinci numuneye ait optimum doz çalışmasının grafiği Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.2.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

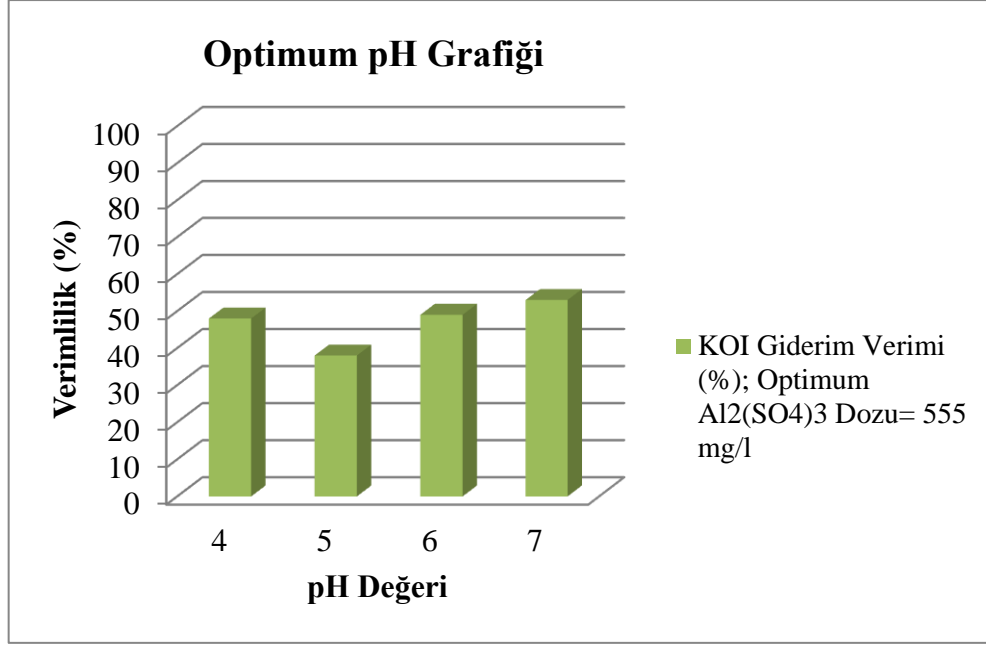
Çizelge 5.2 ve Şekil 5.2'den görüldüğü gibi optimum pH 6'da optimum doz 550 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ile yapılan kimyasal artılabilirlik çalışması verileri Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması Çizelge 5.3'te ve bu çalışmaya ait grafik te Şekil 5.3'te verilmiştir.

**Çizelge 5.3.** Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması

ZN <sub>1</sub> K <sub>Al2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> + NaOH + %1'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	487	555	252	%48
5	487		300	%38
6	487		246	%49
7	487		231	%53



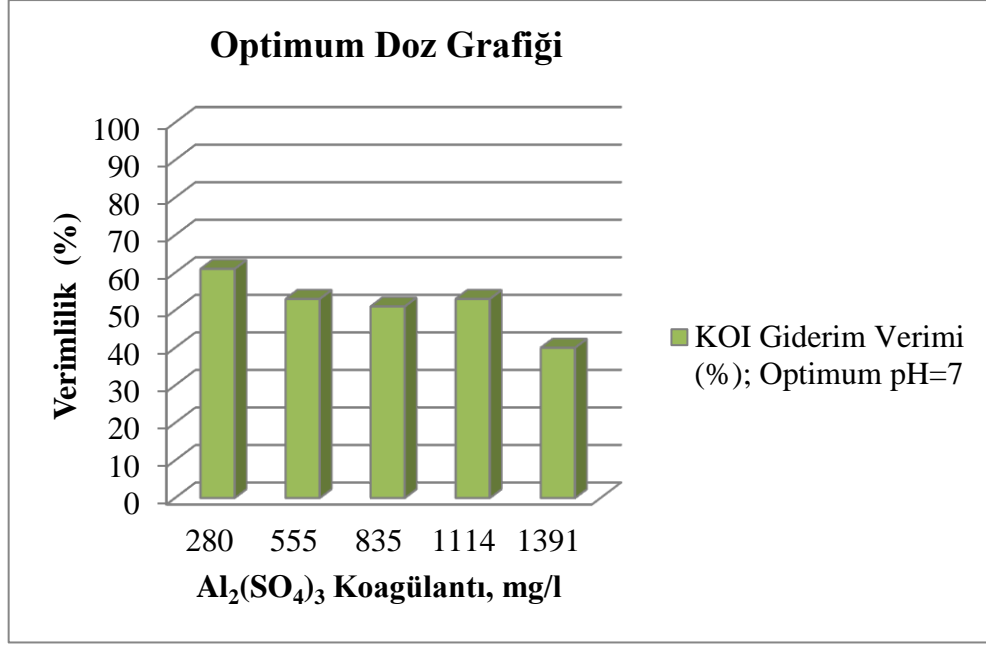
**Şekil 5.3.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

Çizelge 5.3 ve Şekil 5.3'ten görüldüğü gibi  $ZN_1$  üzerinde  $Al_2(SO_4)_3$  ile yapılan çalışmada optimum pH= 7 olarak bulunmuştur. Daha sonra yapılan optimum doz çalışması sonuçları izelge 5.4'te verilmiştir.  $Al_2(SO_4)_3$  ile yapılan optimum doz çalışması sonucunda bulunan KOI giderim verimlerine ait grafik ise Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.4.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz alışması

ZN <sub>1</sub> K <sub>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk $Al_2(SO_4)_3$ + NaOH +%0.1'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülan Miktarı (mg/l)	KOI <sub>ıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	487	280	189	%61
7	487	555	231	%53
7	487	835	237	%51
7	487	1114	230	%53
7	487	1391	292	%40

Çizelge 5.4 ve Şekil 5.4'te ki verimlilik sütununda görüldüğü üzere optimum pH 7 olduğunda % 61'lik verim ile optimum dozun da 280 mg/l olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.4.  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

### 5.1.2. Ozonlama sonuçları

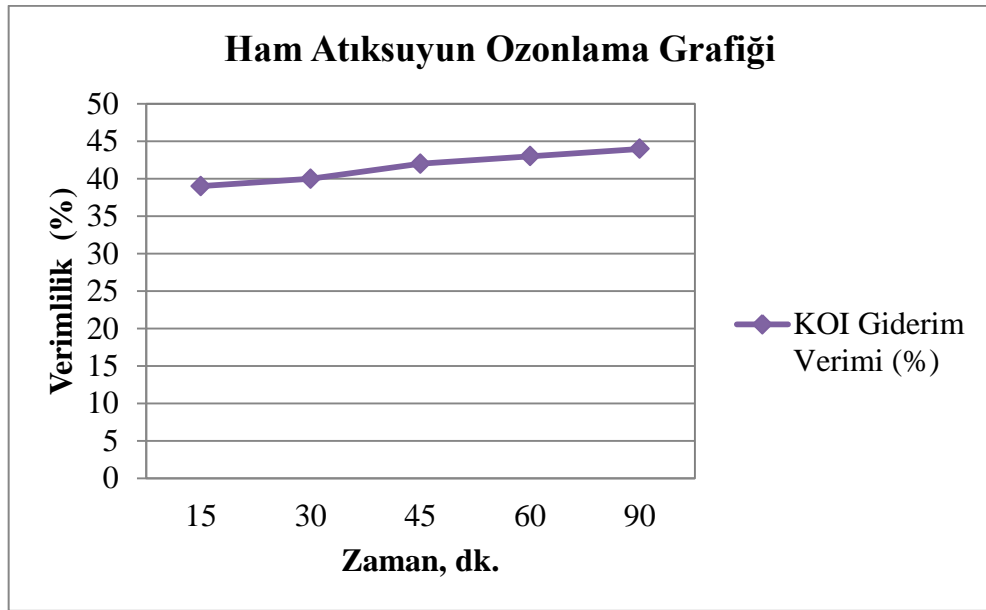
Zayıf karakterli ham atıksuyun ozonlanma verileri Çizelge 5.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 5.5. Ham atıksuyun ozonlanması verileri ( $ZN_1O$ )

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen $O_3$ Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
487	15	250	336 mg ozon*	1164 mg ozon	299	%39
487	30	500			293	%40
487	45	750			282	%42
487	60	1000			280	%43
487	90	1500			275	%44

\* : 90. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.

90 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 1164 mg ozon/974 mg KOI= 1,19 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur. Bu doz teorik olarak, atıksudaki bütün organik maddeyi oksitlemeye yetecek miktarda olsa da ozonun seçici özelliklerinden dolayı hedef dışı bileşiklere yönelmesi KOI giderim verimini %40'lar civarında bırakmıştır. Ayrıca ham atıksuyun ozonlanmasında KOI giderim verimi, kimyasal arıtma sonrası ozonlamaya göre daha yüksek bulunmuştur. Burada ozonlamanın, partiküler KOI üzerine etkili olduğunu dolayısı ile kimyasal arıtmadan geçmemiş atıksuda daha yüksek KOI giderim verimlerinin elde edildiği söylenebilir. Şekil 5.5'te ham atıksuyun ozonlama grafiği gösterilmiştir.



**Şekil 5.5.** Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

ZN<sub>1</sub> numunesi üzerinde FeCl<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kimyasalları ile yapılan jar test sonuç çizelgelerinden de görüldüğü üzere FeCl<sub>3</sub> ile Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>'e göre daha iyi giderim verimi elde edilmiştir. Genellikle demir koagülanları atıksu arıtımında alüminyum koagülanlarına göre daha iyi sonuç vermektedir (Tatsi ve ark. 2003, Ntampou ve ark. 2006). Dolayısıyla kimyasal arıtma sonrası ozon uygulaması FeCl<sub>3</sub> ile yapılmıştır.

### 5.1.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları

Çizelge 5.6'da çalışma sonuçları ve Şekil 5.6'da da kimyasal arıtma sonrası ozonlama grafiği yer almaktadır.

90 dakika sonunda yıkama şişesindeki ozon miktarı; 0,1 N - 1 ml Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün, 2,4 mg ozona karşılık geldiğinden hareketle hesaplanmıştır. Atıksuyun içinde kalan kalıntı ozon, ozonun su

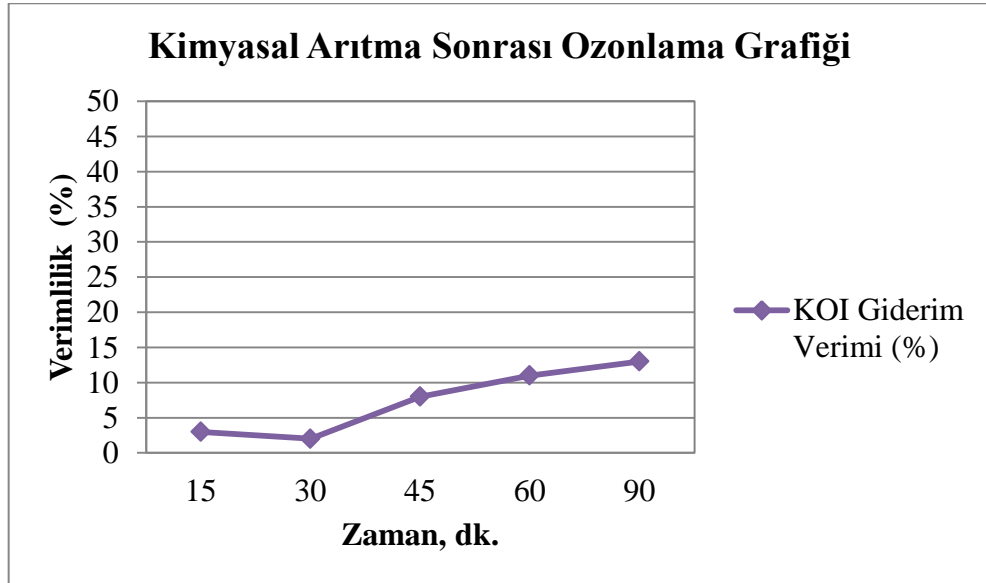
içindeki çözünürlüğünün çok az (0,1-0,3 mg/l) olmasından dolayı ihmal edilmiştir (Beltrán 2004).

**Çizelge 5.6.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri (ZN<sub>1</sub>K<sub>FeCl3</sub>O)

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
122	15	250	355 mg ozon*	1145 mg ozon	118	% 3
122	30	500			120	% 2
122	45	750			112	% 8
122	60	1000			108	% 11
122	90	1500			106	% 13

\* : 90. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.

90 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 1145 mg ozon/244 mg KOI= 4,69 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur.



**Şekil 5.6.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

Uzun ozonlama süreleri ve yüksek ozon dozlarına rağmen KOI giderim verimi %10'lar civarında kalmıştır. Bu düşük reaksiyon hızı, aldehit, keton ve organik asitler gibi ozon ile reaktifliği düşük ve dirençli maddelerin varlığına bağlanabilir (Gottschalk ve ark. 2000, Ntampou ve ark. 2006). Ayrıca proteinler ve aminoasitler gibi oksidasyon ile mineralize olması zor materyallerin, süt endüstrisi atıksularının içinde bulunması, ozonlama ile yüksek KOI giderim verimine ulaşılmasını engellemiştir.

#### 5.1.4. Ozon + koagülasyon – flokülasyon sonuçları

Ozonlama işlemine tabi tutulan atıksu, 90 dakikanın sonunda 500 mililitrelik bir behere alınarak  $FeCl_3$  ile kimyasal arıtma işlemine tabi tutulmuştur. pH ayarlaması için çeşitli normalitelerdeki NaOH ve  $H_2SO_4$  çözeltileri kullanılmıştır. Yumaklaştırma işlemi için ise %1'lik hazırlanan polielektrolit çözeltisi kullanılmıştır. Ozonlanmış su ile kimyasal arıtma işlemi yapılırken, ham atıksuya uygulanan kimyasal arıtma işlemi sonucunda bulunan optimum doz ve optimum pH değerleri dikkate alınmıştır. Çalışma verileri Çizelge 5.7'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.7.** Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri

ZN <sub>1</sub> K <sub>FeCl<sub>3</sub></sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk $FeCl_3$ + NaOH + %1'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
6	275	550	149	%46

Ham atıksuya uygulanan koagülasyon-flokülasyon işlemi sonucu %76 KOI giderim verimi elde edilmiştir. Ozonlanmış suyun KOI giderim verimi ise %46 civarındadır. Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma sonucundaki KOI giderim veriminin, ham atıksuyun direkt kimyasal arıtmaya tabi tutulması sonucunda hesaplanan KOI giderim veriminden daha düşük olmasının sebebi; ozon oksidasyonu sonucu ortaya çıkan ara ve yan ürünlerin, zeta potansiyeli üzerinde değişiklik oluşturduğu şeklinde açıklanabilir.



## 5.2. ZN<sub>2</sub>'in Koagülasyon – Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları

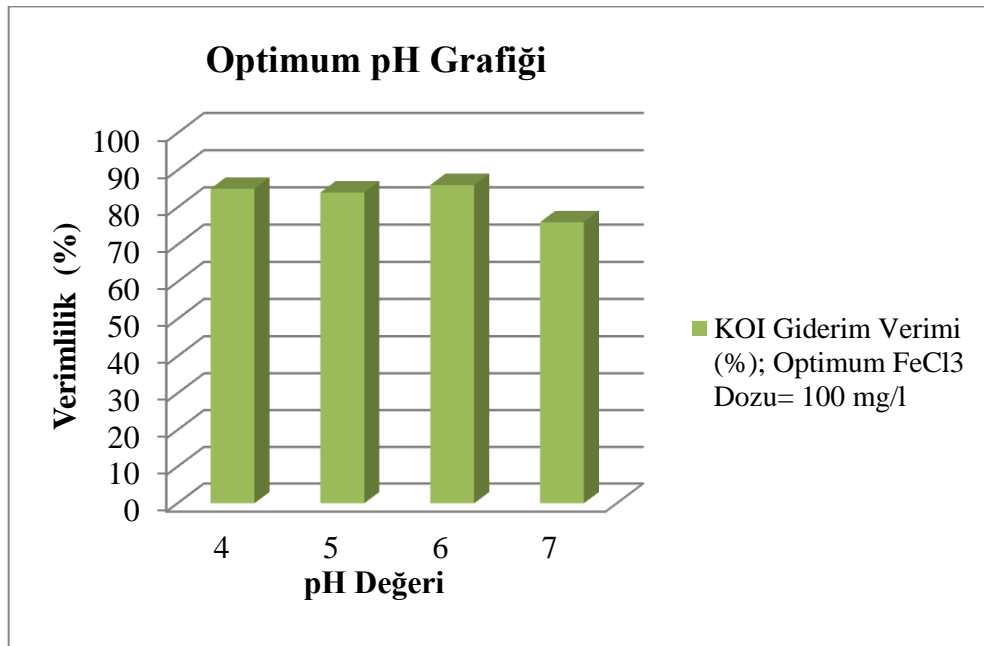
Zayıf karakterli atıksu numunelerinden II. numuneye uygulanan koagülasyon-flokülasyon işlemi, ozonlama işlemi, koagülasyon-flokülasyon + ozonlama işlemi ve son olarak ta ozon + koagülasyon-flokülasyon işlemi sonuçları bu bölümde verilmiştir.

### 5.2.1. Koagülasyon - flokülasyon sonuçları

Çizelge 5.8'de zayıf karakterli atıksudan alınan ikinci numunenin %10'luk FeCl<sub>3</sub> için elde edilen optimum pH verileri derlenmiştir.

Çizelge 5.8. FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması

ZN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %1'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	500	100	75	%85
5	500		82	%84
6	500		70	%86
7	500		119	%76



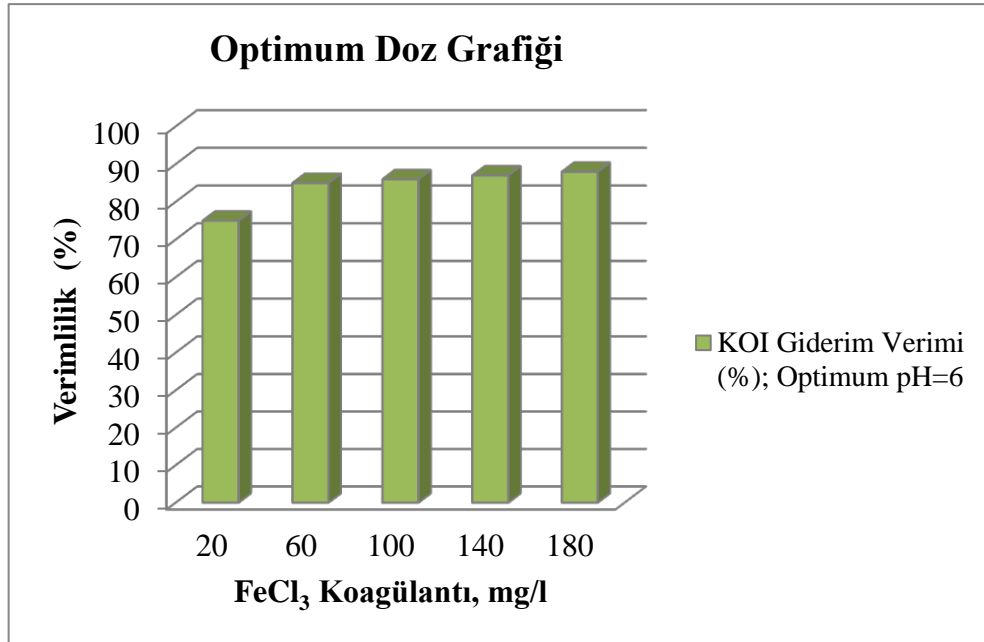
Şekil 5.7. FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

Çizelge 5.8'den görüldüğü gibi % 10'luk FeCl<sub>3</sub> için optimum pH= 6 olarak tespit edilmiştir. Şekil 5.7'de de optimum FeCl<sub>3</sub> dozu için KOI giderim verimliliği ve pH arasındaki grafik gösterilmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda optimum dozaj tespitine geçilmiştir. Zayıf karakterli atıksuyun ikinci numunesine uygulanan % 10'luk FeCl<sub>3</sub> ile bulunan optimum doz sonuçları Çizelge 5.9'da ve bu çalışmanın grafiği de Şekil 5.8'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.9.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum doz çalışması

ZN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH +%01'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
6	500	20	124	%75
6	500	60	77	%85
6	500	100	70	%86
6	500	140	67	%87
6	500	180	62	%88



**Şekil 5.8.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

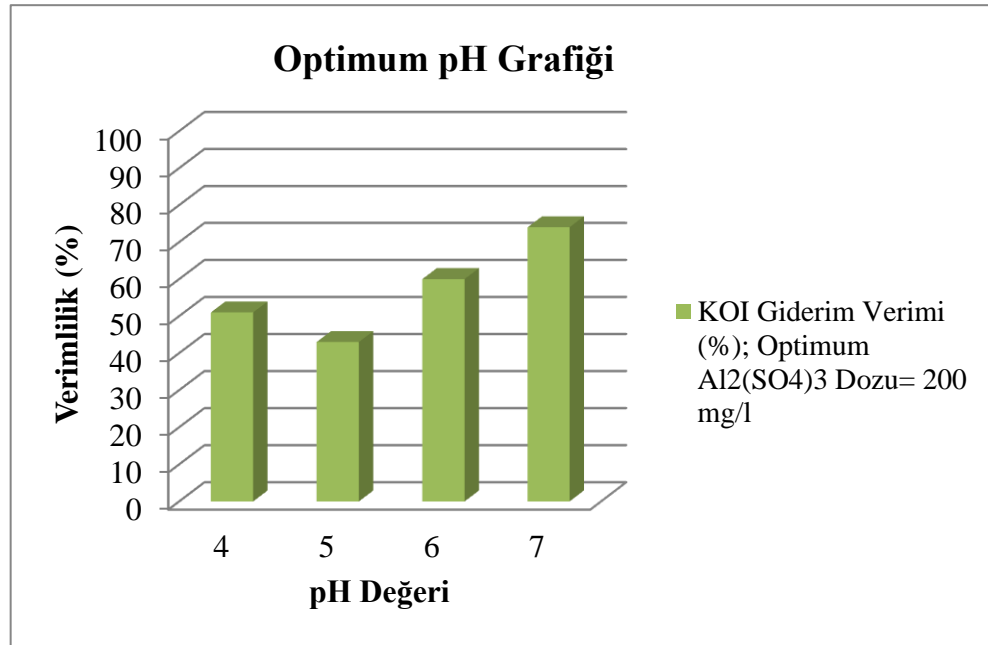
Çizelge 5.9'dan ve Şekil 5.8'den de görüldüğü gibi optimum dozaj 180 mg/l olarak tespit edilmiştir.

$Al_2(SO_4)_3$  ile yapılan kimyasal arıtılabilirlik çalışması verileri Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11'de sunulmuştur.

İkinci numuneye ait  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması Çizelge 5.10'da ve bu çalışmanın grafiği de Şekil 5.9'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.10.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması

ZN <sub>2</sub> KAl <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> + NaOH +%01'lik Polimer (0,75 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	500	200	244	%51
5	500		283	%43
6	500		202	%60
7	500		131	%74



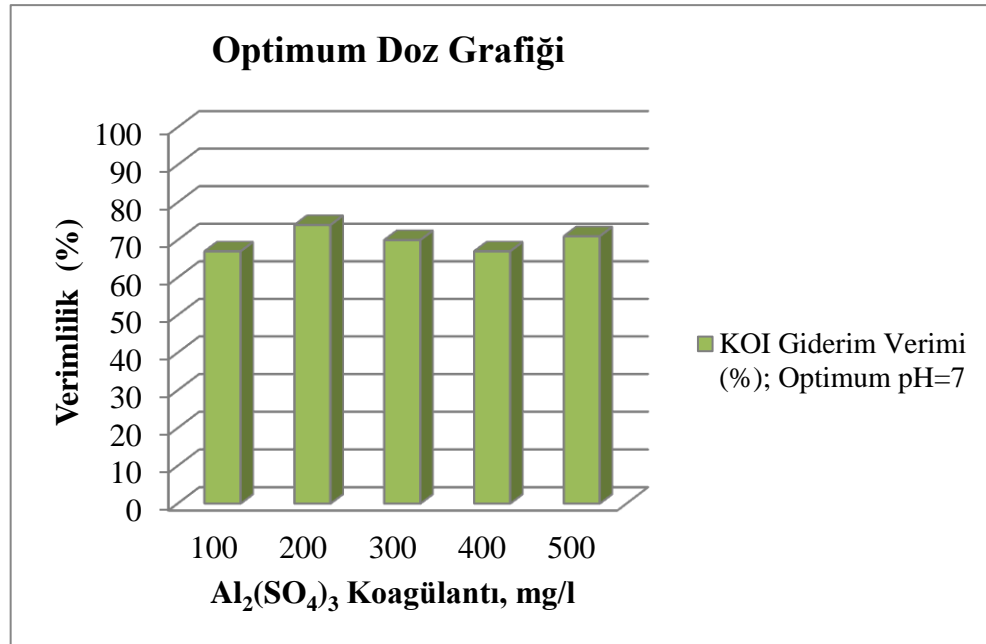
**Şekil 5.9.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

Çizelge 5.10 ve Şekil 5.9'dan görüldüğü gibi  $Zn_2$  üzerinde  $Al_2(SO_4)_3$  ile yapılan çalışmada optimum pH= 7 olarak bulunmuştur. Hemen arkasından yapılan optimum doz çalışması sonuçları Çizelge 5.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.11'de ki verimlilik sütununda görüldüğü üzere % 74'lük verim ile optimum dozun 200 mg/l olduğu belirlenmiştir. Şekil 5.10'da  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışmasına ait grafik yer almaktadır.

**Çizelge 5.11.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması

Zn <sub>2</sub> K <sub>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>: 500 ml atıksu + % 10'luk Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> + NaOH + %0,1'lik Polimer (0,75 ml)</sub>				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	500	100	164	%67
7	500	200	131	%74
7	500	300	150	%70
7	500	400	164	%67
7	500	500	146	%71



**Şekil 5.10.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

## 5.2.2. Ozonlama sonuçları

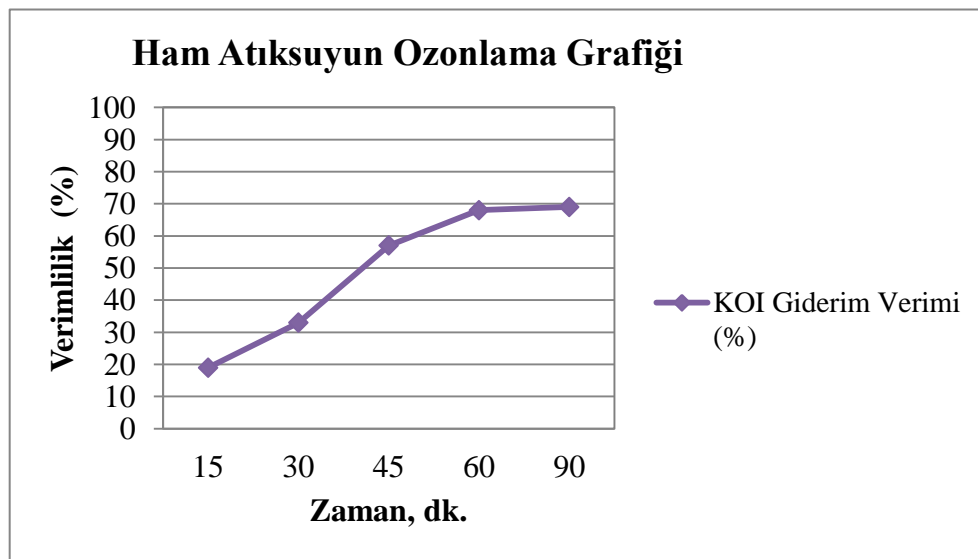
İkinci numuneye ait ozonlama verileri Çizelge 5.12’de verilmiştir.

90. dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 1255 mg ozon/1000 mg KOI= 1,255 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur. Bu numunede bu ozon dozu ile %69 KOI giderim verimi elde edilirken birinci numunede hemen hemen aynı ozon dozu ile %44 verim elde edilebilmiştir.

**Çizelge 5.12.** Ham atıksuyun ozonlanması verileri (ZN<sub>2</sub>O)

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
500	15	250	245 mg ozon*	1255 mg ozon	406	%19
500	30	500			337	%33
500	45	750			216	%57
500	60	1000			158	%68
500	90	1500			157	%69

\* : 90. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.



**Şekil 5.11.** Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

Şekil 5.11’de de zayıf karakterli ikinci numuneye ait ham atıksuyun ozonlama grafiğinin yer aldığı görülmektedir.

ZN<sub>2</sub> numunesi üzerinde FeCl<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kimyasalları ile yapılan jar test sonuç çizelgeleri ile de görüldüğü üzere FeCl<sub>3</sub> koagülantı Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>’e göre daha üstündür. Dolayısıyla kimyasal arıtma sonrası ozon uygulaması FeCl<sub>3</sub> ile yapılmıştır.

### 5.2.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları

Çizelge 5.13’te yapılan çalışma sonuçları ve Şekil 5.12’de de kimyasal arıtma sonrası ozonlama grafiği gösterilmiştir.

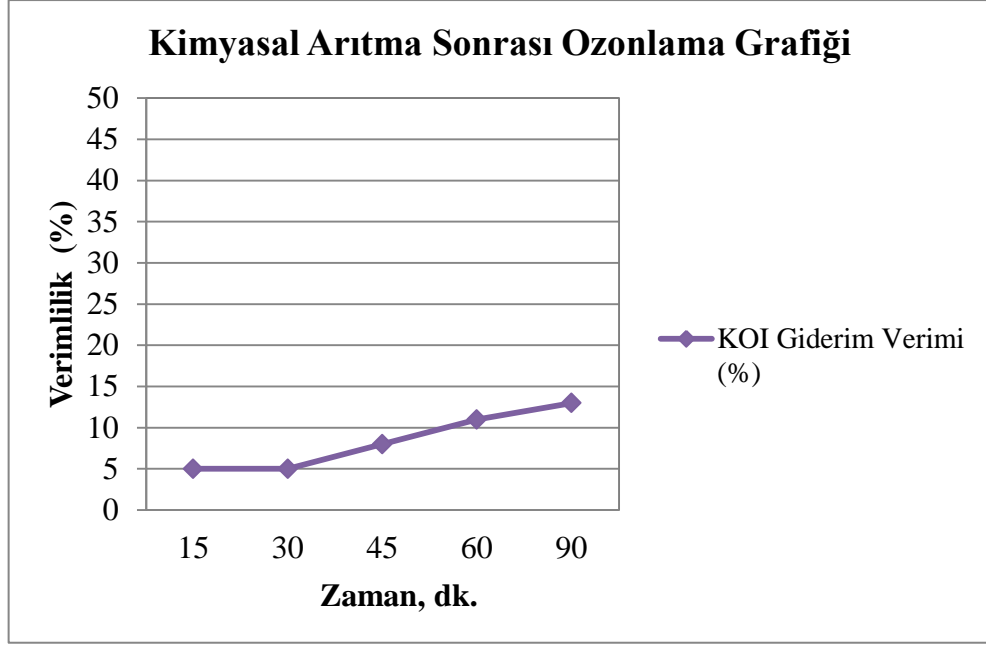
**Çizelge 5.13.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri (ZN<sub>2</sub>K<sub>FeCl<sub>3</sub>O</sub>)

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
62	15	250	216 mg ozon*	1284 mg ozon	59	%5
62	30	500			59	%5
62	45	750			57	%8
62	60	1000			55	%11
62	90	1500			54	%13

\* : 90. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.

90 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 1284 mg ozon/124 mg KOI= 10,35 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur.

İkinci numunede kimyasal arıtma sonrası ozonlama uygulamasında 90 dakika sonunda birinci numuneye hemen hemen aynı giderim verimi elde edilmesine rağmen ikinci numunede kullanılan ozon dozu iki kat artmıştır.



**Şekil 5.12.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

#### 5.2.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları

Ozonlama işlemine tabi tutulan atıksu 90 dakikanın sonunda 500 ml'lik bir behere alınarak FeCl<sub>3</sub> koagülantı ile kimyasal arıtma işlemine tabi tutulmuştur. pH ayarlaması için çeşitli normalitelerdeki NaOH ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltileri kullanılmıştır. Yumaklaştırma işlemi için ise %1'lik hazırlanan polielektrolit çözeltisi kullanılmıştır.

Ozonlanmış su ile kimyasal arıtma işlemi yapılırken, ham atıksuya uygulanan kimyasal arıtma işlemi sonucunda bulunan optimum doz ve optimum pH dikkate alınmıştır. Çalışma verileri Çizelge 5.14'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.14.** Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri

ZN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %01'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
6	157	200	114	%46

### 5.3. ZN<sub>3</sub>'ün Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları

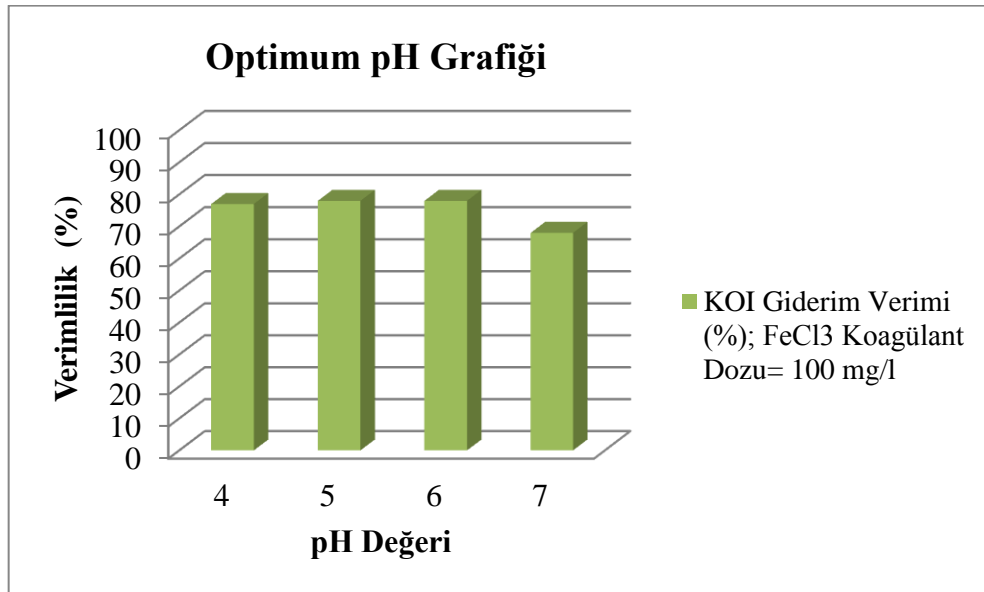
Zayıf karakterli atıksu numunelerinden III. numuneye de diğer iki atıksu numunesine uygulanan koagülasyon-flokülasyon işlemi, ozonlama işlemi, koagülasyon-flokülasyon + ozonlama işlemi ve son olarak ta ozon + koagülasyon-flokülasyon işlemi sonuçları bu bölümde verilmiştir.

#### 5.3.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları

Çizelge 5.15'te zayıf karakterli atıksudan alınan üçüncü numunede %10'luk FeCl<sub>3</sub> için elde edilen optimum pH verileri derlenmiş ve Şekil 5.13'teki grafikte de gösterilmiştir.

Çizelge 5.15. FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması

ZN <sub>3</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %0,1'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	457	100	105	%77
5	457		99	%78
6	457		99	%78
7	457		146	%68



Şekil 5.13. FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI verimleri

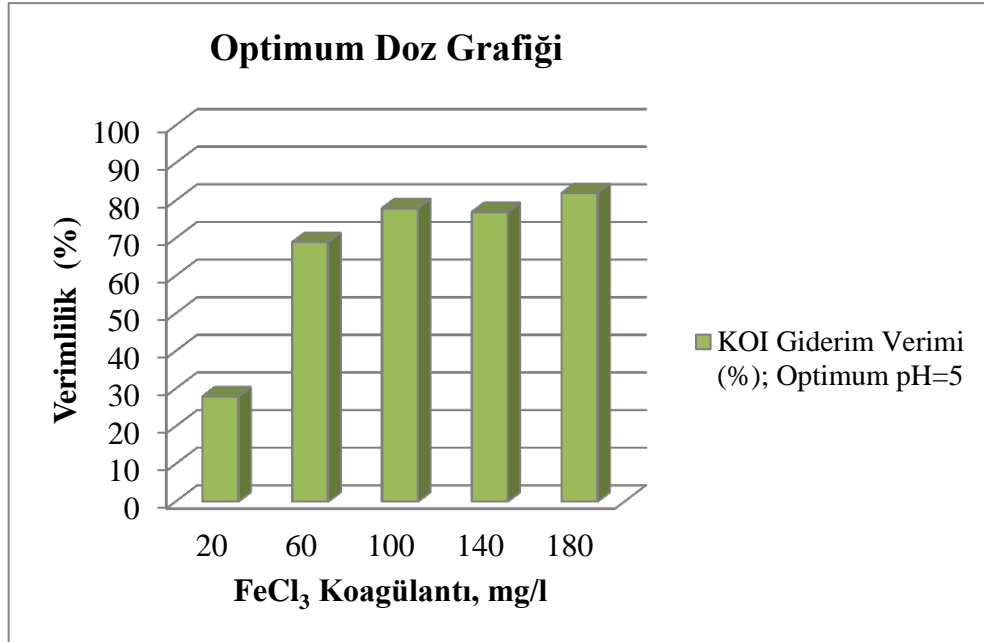


Çizelge 5.15 ve Şekil 5.13'ten de görüldüğü gibi % 10'luk  $\text{FeCl}_3 + \text{NaOH}$  için optimum pH=5 ve 6 arasında bir değer olarak tespit edilmiştir. Optimum doz çalışmasında kullanılacak optimum pH ise 5 olarak seçilmiş ve kullanılmıştır.

Optimum pH'ın bulunmasından sonra optimum dozaj tespitine geçilmiştir. Zayıf karakterli atıksuyun üçüncü numunesinde % 10'luk  $\text{FeCl}_3$  için yapılan optimum doz sonuçları Çizelge 5.16'da ve optimum doz grafiği ise Şekil 5.14'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.16.**  $\text{FeCl}_3$  ile optimum doz çalışması

Z <sub>N3</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk $\text{FeCl}_3 + \text{NaOH}$ +%01'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
5	457	20	331	%28
5	457	60	141	%69
5	457	100	99	%78
5	457	140	105	%77
5	457	180	84	%82



**Şekil 5.14.**  $\text{FeCl}_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

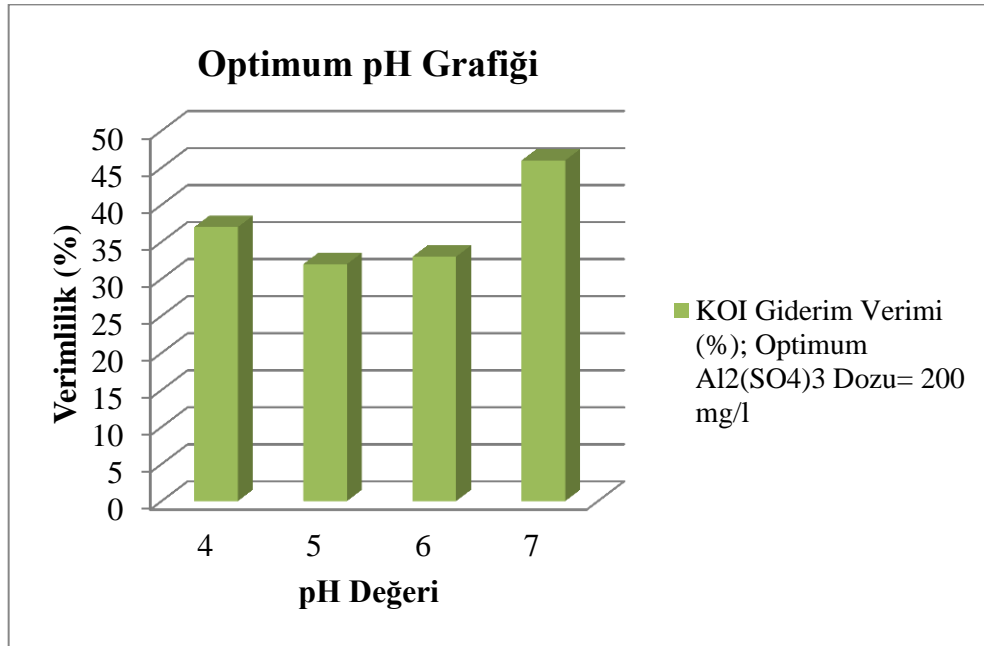
Çizelge 5.16 ve Şekil 5.14'ten görüldüğü gibi optimum dozaj 180 mg/l olarak tespit edilmiştir.

$Al_2(SO_4)_3$  ile yapılan kimyasal arıtılabilirlik çalışması verileri Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18'de sunulmuştur.

**Çizelge 5.17.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması

ZN <sub>3</sub> K <sub>Al2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk $Al_2(SO_4)_3$ + NaOH + %01'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	457	200	289	%37
5	457		311	%32
6	457		308	%33
7	457		247	%46

Çizelge 5.17'den görüldüğü gibi ZN<sub>3</sub> üzerinde  $Al_2(SO_4)_3$  ile yapılan çalışmada optimum pH=7 olarak bulunmuştur. Şekil 5.15'te üçüncü numunede  $Al_2(SO_4)_3$  ile çalışılan optimum pH grafiği gösterilmiştir.



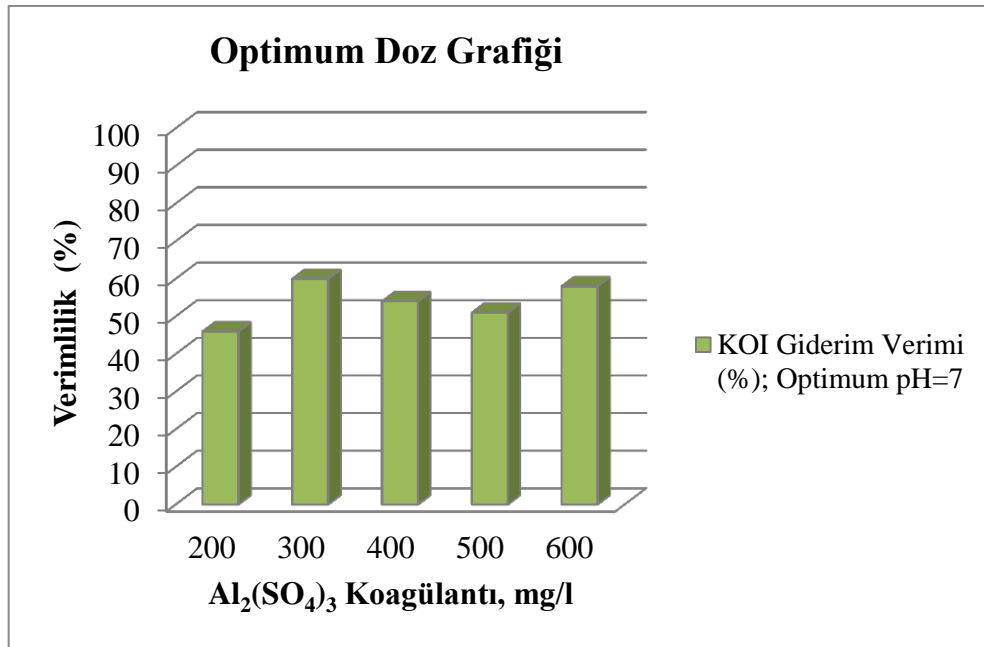
**Şekil 5.15.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması sonucunda KOI verimleri

Üçüncü numune üzerinde gerçekleştirilen  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışmasının ardından yapılan optimum doz çalışması sonuçları Çizelge 5.18’de ve çalışmanın grafiği de Şekil 5.16’da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.18.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması

ZN <sub>3</sub> K <sub>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>: 500 ml atıksu + % 10’luk <math>Al_2(SO_4)_3</math> + NaOH + %0,1’lik Polimer (0,75 ml)</sub>				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	457	200	247	%46
7	457	300	185	%60
7	457	400	209	%54
7	457	500	223	%51
7	457	600	192	%58

Çizelge 5.18’de verimlilik sütununda görüldüğü üzere % 60’lık verim ile optimum dozun 300 mg/l olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 5.16.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

### 5.3.2. Ozonlama sonuçları

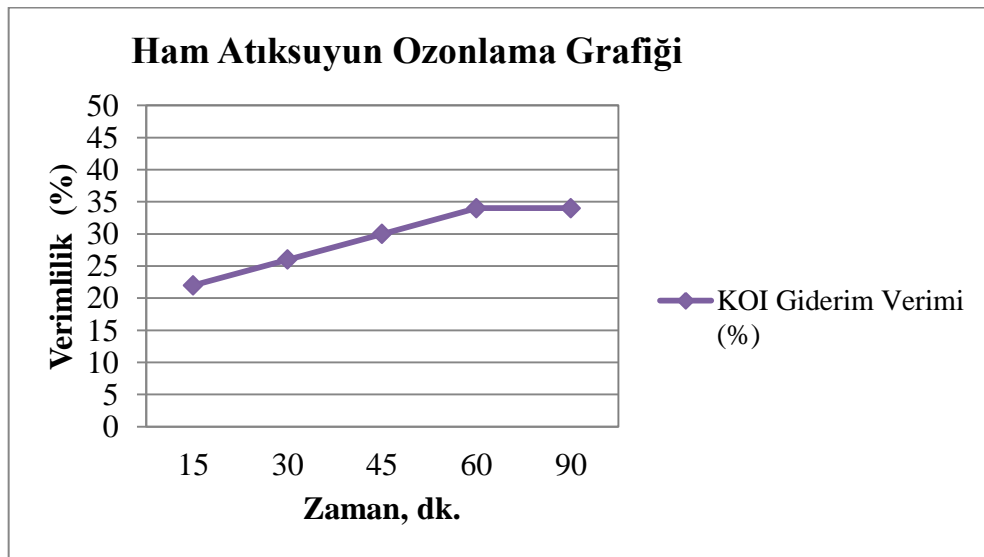
Üçüncü numuneye ait ozonlama verileri Çizelge 5.19'da ve grafiği ise Şekil 5.17'de verilmiştir.

Çizelge 5.19. Ham atıksuyun ozonlanması verileri (ZN<sub>3</sub>O)

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
457	15	250	161 mg ozon*	1339 mg ozon	358	%22
457	30	500			340	%26
457	45	750			322	%30
457	60	1000			304	%34
457	90	1500			300	%34

\* : 90. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.

90. dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 1339 mg ozon/914 mg KOI= 1,46 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur.



Şekil 5.17. Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

ZN<sub>3</sub> numunesi üzerinde FeCl<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kimyasalları ile yapılan jar test sonuç çizelgeleri ile de görüldüğü üzere FeCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>'e göre daha üstündür. Dolayısıyla kimyasal arıtma sonrası ozon uygulaması FeCl<sub>3</sub> ile yapılmıştır.

### 5.3.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları

Çalışma sonuçları Çizelge 5.20'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.20.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri (ZN<sub>3</sub>K<sub>FeCl<sub>3</sub>O</sub>)

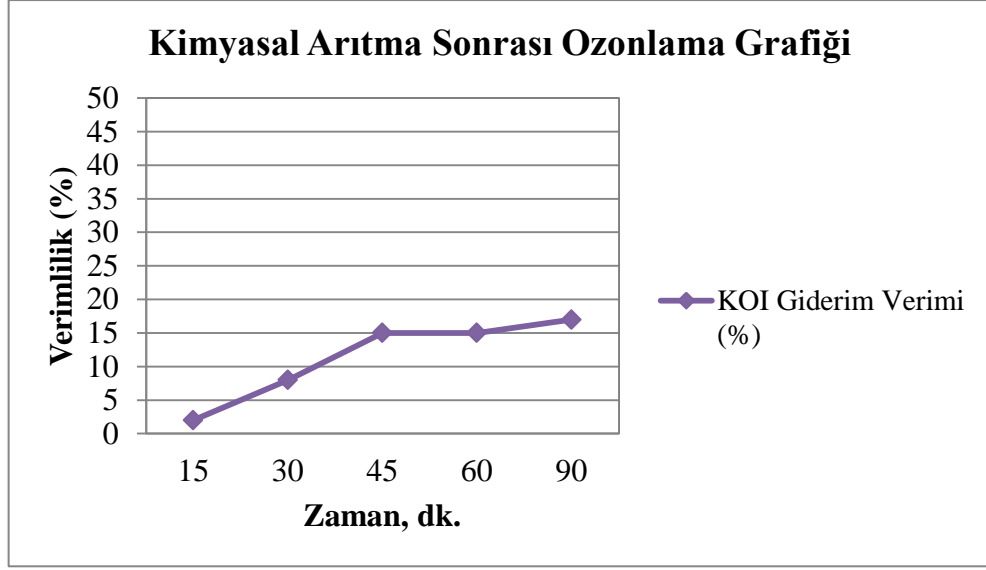
Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
84	15	250	185 mg ozon*	1315 mg ozon	82	%2
84	30	500			77	%8
84	45	750			71	%15
84	60	1000			71	%15
84	90	1500			70	%17

\* : 90. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.

90 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 1315 mg ozon/168 mg KOI= 7,47 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur. Üçüncü numuneye ait kimyasal arıtma sonrası ozonlama grafiği Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

### 5.3.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları

Ozonlama işlemine tabi tutulan atıksu 90 dakikanın sonunda 500 mililitrelik bir behere alınarak FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma işlemine tabi tutulmuştur. Ozonlanmış su ile kimyasal arıtma işlemi yapılırken, ham atıksuya uygulanan kimyasal arıtma işlemi sonucunda bulunan optimum doz ve optimum pH dikkate alınmıştır. Çalışma verileri Çizelge 5.21'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.18.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

**Çizelge 5.21.** Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri

ZN <sub>3</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %0,1'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
5	300	300	100	%67

## Kuvvetli Karakterli Atıksular

### 5.4. KN<sub>1</sub>'in Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları

Kuvvetli karakterli atıksu numunelerinden I. numuneye uygulanan koagülasyon-flokülasyon işlemi, ozonlama işlemi, koagülasyon-flokülasyon + ozonlama işlemi ve son olarak ta ozon + koagülasyon-flokülasyon işlemi sonuçları bu bölümde verilmiştir.

#### 5.4.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları

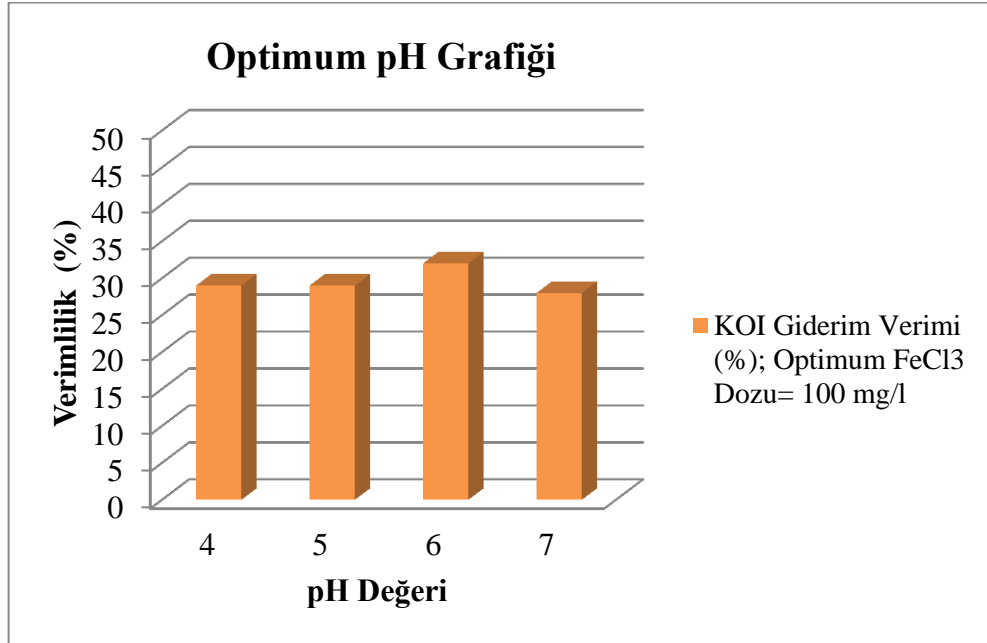
Kuvvetli karakterli atıksu numuneleri için de kimyasal arıtma sürecinde öncelikle FeCl<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kimyasalları ile optimum pH tespiti yapılmıştır. Optimum pH tespit edildikten sonra da optimum doz belirlenmiştir.

KN<sub>1</sub> için elde edilen optimum pH verileri Çizelge 5.22’de ve optimum pH grafiği de Şekil 5.19’da verilmiştir.

**Çizelge 5.22.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması

KN <sub>1</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10’luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %01’lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	9430	100	6691	%29
5	9430		6726	%29
6	9430		6414	%32
7	9430		6803	%28

Çizelge 5.22’den görüldüğü gibi % 10’luk FeCl<sub>3</sub> için optimum pH= 6 olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 5.19.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimleri

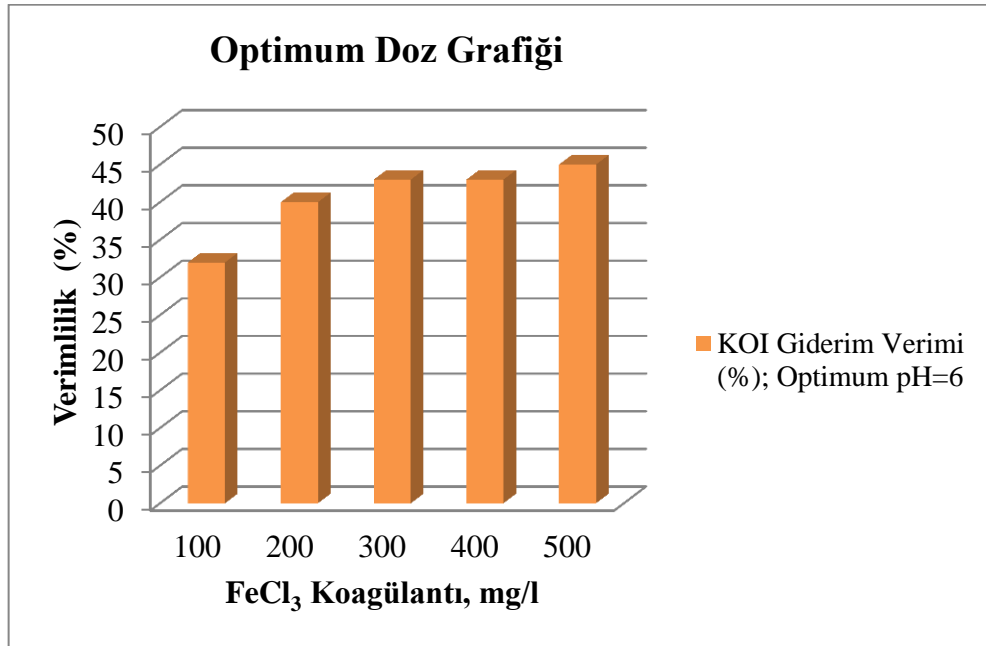
Optimum pH çalışmaları sonucunda optimum dozaj tespitine geçilmiştir. Kuvvetli karakterli atıksuyun birinci numunesinde % 10’luk FeCl<sub>3</sub> ile yapılan optimum doz sonuçları Çizelge 5.23’de ve optimum doz grafiği de Şekil 5.20’de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.23.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum doz çalışması

KN <sub>1</sub> K <sub>FeCl<sub>3</sub></sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %1'lik Polimer (0,75 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
6	9430	100	6414	%32
6	9430	200	5612	%40
6	9430	300	5347	%43
6	9430	400	5403	%43
6	9430	500	5231	%45

Çizelge 5.23'den görüldüğü gibi optimum dozaj 500 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Kuvvetli karakterli numunelerde kimyasal arıtma ile KOI giderim verimi, zayıf karakterli numunelerden daha düşük kalmıştır. Burada kuvvetli karakterli atıksuda çözülmüş formda bulunan KOI'nin, yüzdesel olarak daha fazla olduğu söylenebilir.



**Şekil 5.20.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI verimleri

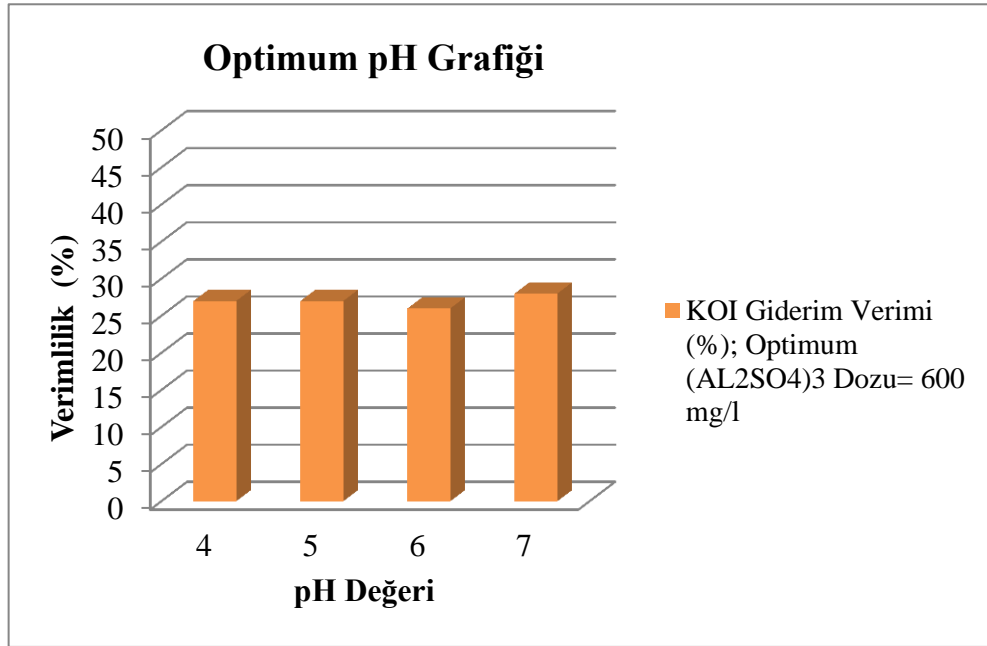
FeCl<sub>3</sub> ile gerçekleştirilen optimum pH ve doz çalışmaları sonrasında uygulanan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ile yapılan kimyasal arıtılabilirlik çalışması verileri Çizelge 5.24 ve Çizelge 5.25'te sunulmuştur.



$Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması Çizelge 5.24'te ve bu çalışmanın grafiği de Şekil 5.21'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.24.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması

KN <sub>1</sub> K <sub>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>: 500 ml atıksu + % 10'luk <math>Al_2(SO_4)_3</math> + NaOH + %0,1'lik Polimer (1,0 ml)</sub>				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	9430	600	6844	%27
5	9430		6871	%27
6	9430		6972	%26
7	9430		6764	%28



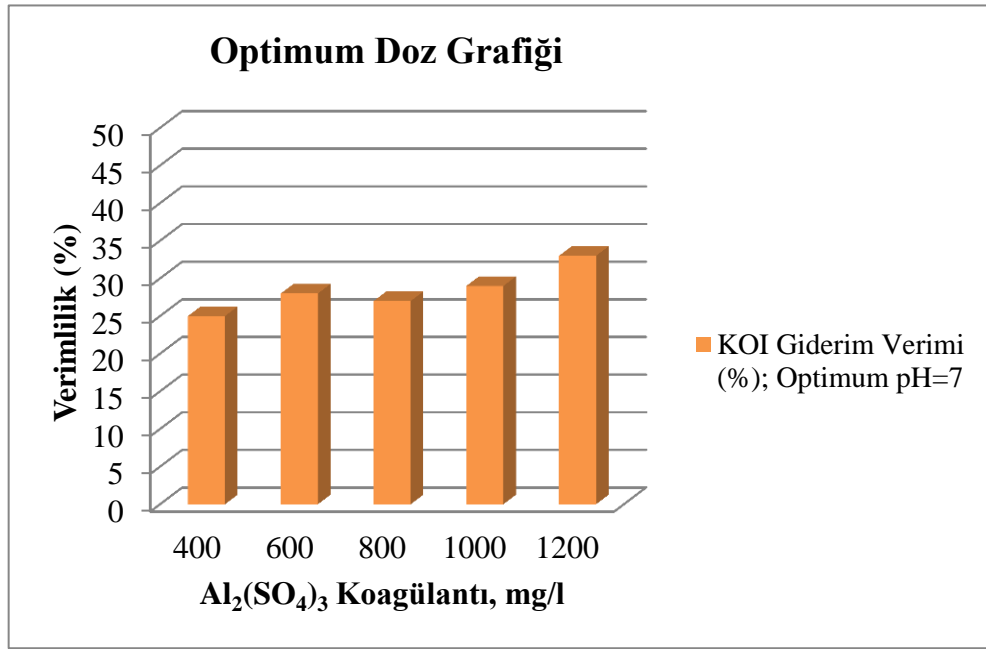
**Şekil 5.21.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

Çizelge 5.24'ten görüldüğü gibi KN<sub>1</sub> üzerinde  $Al_2(SO_4)_3$  ile yapılan çalışmada optimum pH=7 olarak bulunmuştur. Akabinde yapılan optimum doz çalışması sonuçları Çizelge 5.25'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.25.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması

KN <sub>1</sub> K <sub>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub></sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk $Al_2(SO_4)_3$ + NaOH + %0,1'lik Polimer (1,0 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	9430	400	7090	%25
7	9430	600	6764	%28
7	9430	800	6890	%27
7	9430	1000	6679	%29
7	9430	1200	6333	%33

Çizelge 5.25'te verimlilik sütununda görüldüğü üzere % 33'lük verim ile optimum dozun 1200 mg/l olduğu belirlenmiştir.  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği Şekil 5.22'de gösterilmiştir.



**Şekil 5.22.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

#### 5.4.2. Ozonlama sonuçları

KN<sub>1</sub>O notasyonuna ait veri tablosu Çizelge 5.26'da özetlenmiştir.

**Çizelge 5.26.** Ham atıksuyun ozonlanması verileri (KN<sub>1</sub>O)

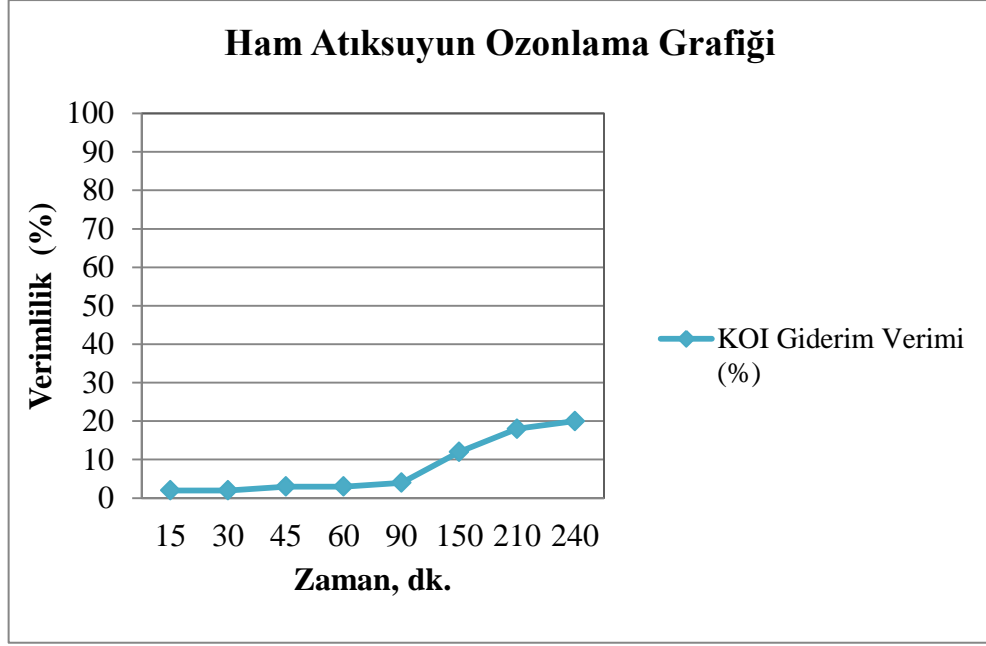
Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
9430	15	250	168 mg ozon*	3832 mg ozon	9215	% 2
9430	30	500			9210	% 2
9430	45	750			9190	% 3
9430	60	1000			9146	% 3
9430	90	1500			9026	% 4
9430	150	2500			8259	% 12
9430	210	3500			7723	% 18
9430	240	4000			7544	% 20

\* : 240. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.

240 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 3832 mg ozon/18860 mg KOI= 0,203 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur. Zayıf karakterli numunelerde direkt ozonlama verimi, kimyasal arıtma sonrası ozonlama veriminden yüksek iken; kuvvetli karakterli numunelerde kimyasal arıtma KOI değerini düşürdüğünden, kimyasal arıtma sonrası ozonlamada ozon dozu artmış ve kimyasal arıtma sonrası KOI giderim verimi direkt ozonlamaya göre daha yüksek olmuştur.

Kuvvetli karakterli atıksu karakterizasyonuna sahip birinci numuneye ait ham atıksuyun ozonlanmasına ait grafik Şekil 5.23'te gösterilmiştir.

KN<sub>1</sub> numunesi üzerinde FeCl<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kimyasalları ile yapılan jar test sonuç çizelgeleri ile de görüldüğü üzere FeCl<sub>3</sub> koagülantı Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>'e göre daha üstündür. Dolayısıyla kimyasal arıtma sonrası ozon uygulaması ve ozonlanmış suyun kimyasal arıtılması FeCl<sub>3</sub> ile yapılmıştır.



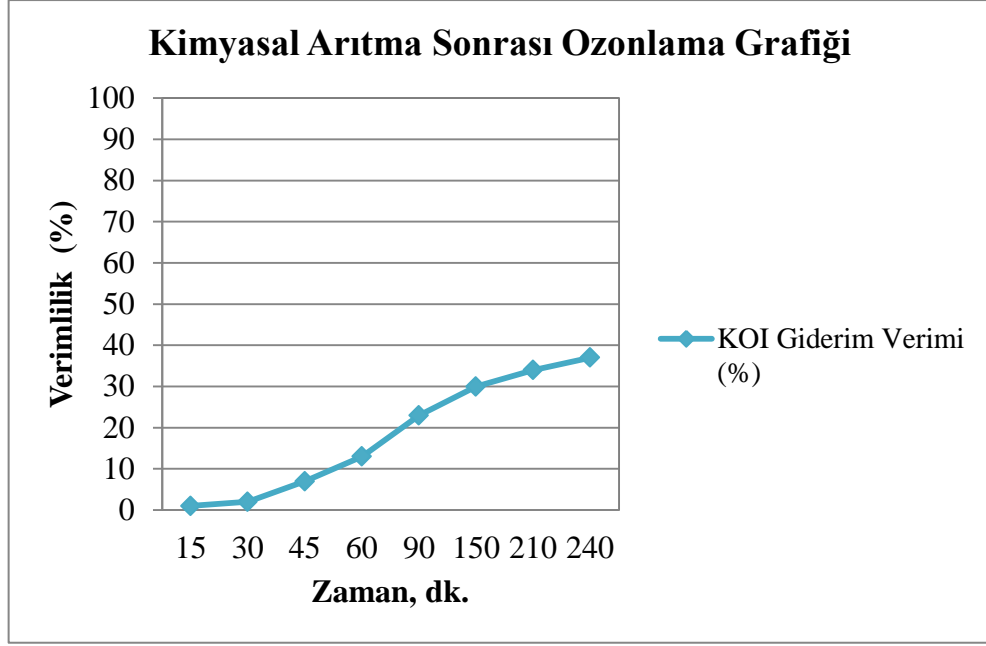
Şekil 5.23. Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

#### 5.4.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları

Çalışma sonuçları Çizelge 5.27’de ve bu çalışmanın grafiği de Şekil 5.24’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.27. FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri (KN<sub>1</sub>K<sub>FeCl3</sub>O)

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
5231	15	250	144 mg ozon*	3856 mg ozon	5180	% 1
5231	30	500			5103	% 2
5231	45	750			4876	% 7
5231	60	1000			4574	% 13
5231	90	1500			4020	% 23
5231	150	2500			3685	% 30
5231	210	3500			3461	% 34
5231	240	4000			3286	% 37



**Şekil 5.24.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

240 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 3856 mg ozon/10462 mg KOI= 0,37 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur. Görüldüğü gibi ozonlama süresi 4 saate kadar çıkarıldığı halde giriş KOI değerinin çok yüksek olmasından dolayı zayıf karakterli numunelere göre ozon dozu düşük kalmıştır.

#### 5.4.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları

Birinci numuneye ait ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri Çizelge 5.28’de sunulmuştur.

**Çizelge 5.28.** Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri

KN <sub>1</sub> OK <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10’luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %01’lik Polimer (0,75 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
6	7544	500	4527	%40

## 5.5. KN<sub>2</sub>'nin Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları

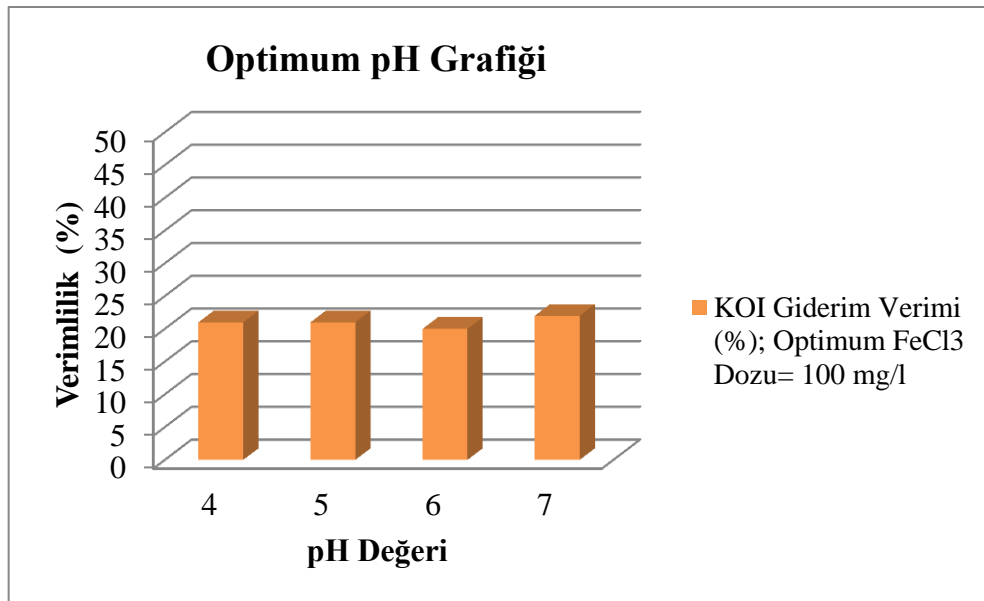
Kuvvetli karakterli atıksu numunelerinden II. numuneye uygulanan koagülasyon-flokülasyon işlemi, ozonlama işlemi, koagülasyon-flokülasyon + ozonlama işlemi ve son olarak ta ozon + koagülasyon-flokülasyon işlemi sonuçları bu bölümde verilmiştir.

### 5.5.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları

Kuvvetli karakterli atıksu örneğinin ikinci numunesi KN<sub>2</sub> için çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir. FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması Çizelge 5.29'da ve optimum pH grafiği de 5.25'te verilmiştir ve buradan görüldüğü gibi % 10'luk FeCl<sub>3</sub> için optimum pH= 7 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 5.29. FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması

KN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %01'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	10290	100	8123	%21
5	10290		8081	%21
6	10290		8230	%20
7	10290		8041	%22



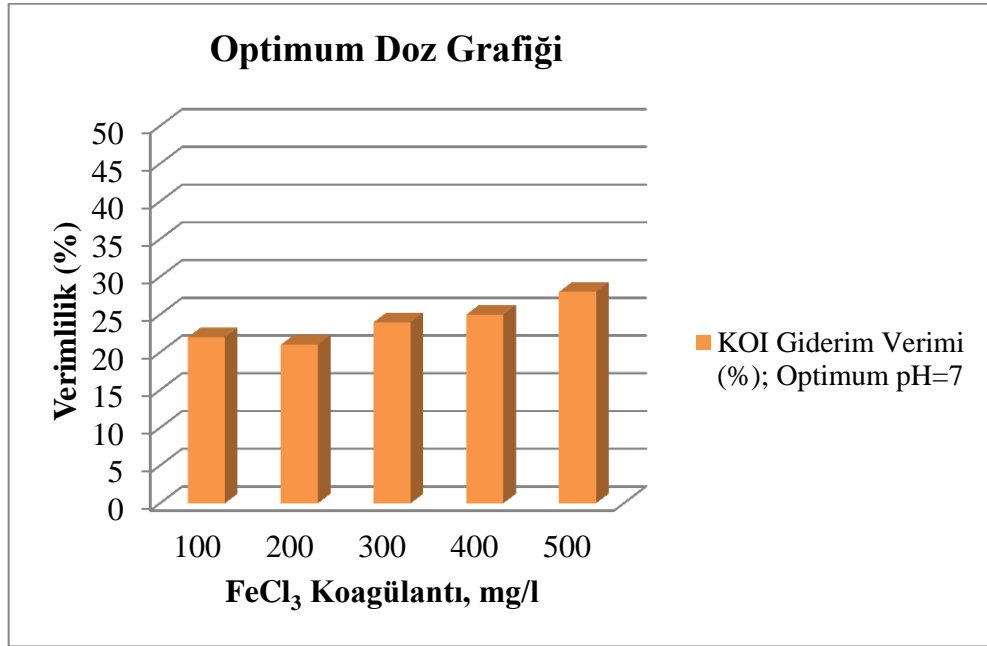
Şekil 5.25. FeCl<sub>3</sub> ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

Optimum pH bulunduktan sonra optimum dozaj tespitine geçilmiştir. Kuvvetli karakterli atıksuyun ikinci numunesinde % 10'luk FeCl<sub>3</sub> için yapılan optimum doz sonuçları Çizelge 5.30'da ve optimum doz grafiği de Şekil 5.26'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.30.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum doz çalışması

KN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %01'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	10290	100	8041	%22
7	10290	200	8173	%21
7	10290	300	7790	%24
7	10290	400	7746	%25
7	10290	500	7400	%28

Çizelge 5.30'dan görüldüğü gibi optimum dozaj 500 mg/l olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 5.26.** FeCl<sub>3</sub> ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

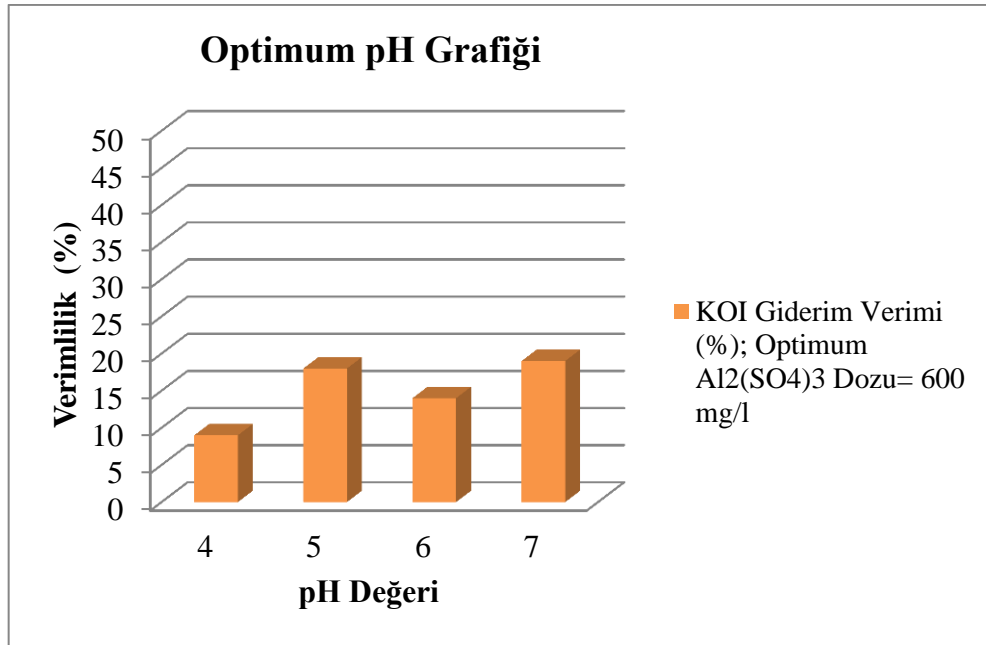
Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> ile yapılan kimyasal arıtılabilirlik çalışması verileri Çizelge 5.31 ve Çizelge 5.32'de sunulmuştur.

$Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması Çizelge 5.31’de verilmiştir.

**Çizelge 5.31.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması

KN <sub>2</sub> KAl <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> : 500 ml atıksu + % 10’luk Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> + NaOH + %0,1’lik Polimer (0,75 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	10290	600	9371	%9
5	10290		8484	%18
6	10290		8803	%14
7	10290		8293	%19

$Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışmasının grafiği de Şekil 27’de gösterilmiştir.



**Şekil 5.27.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

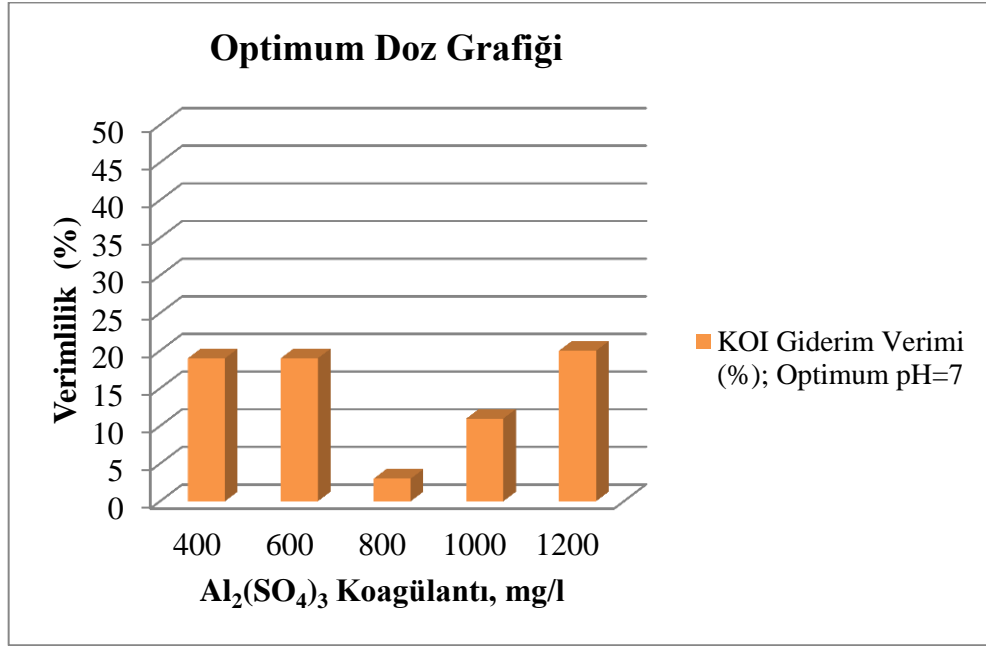
Çizelge 5.31’den görüldüğü gibi KN<sub>2</sub> üzerinde  $Al_2(SO_4)_3$  ile yapılan çalışmada optimum pH=7 olarak bulunmuştur. Akabinde yapılan optimum doz çalışması sonuçları Çizelge 5.32’de gösterilmiştir.



**Çizelge 5.32.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması

KN <sub>2</sub> KAl <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk $Al_2(SO_4)_3$ + NaOH + %0,1'lik Polimer (1,0 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	10290	400	8371	% 19
7	10290	600	8293	% 19
7	10290	800	8275	% 20
7	10290	1000	9136	% 11
7	10290	1200	8288	% 20

Çizelge 5.32'de verimlilik sütununda görüldüğü üzere % 20'lik verim ile optimum dozun 1200 mg/l olduğu belirlenmiştir.  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışmasının grafiği de Şekil 5.28'de verilmiştir.



**Şekil 5.28.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

### 5.5.2. Ozonlama sonuçları

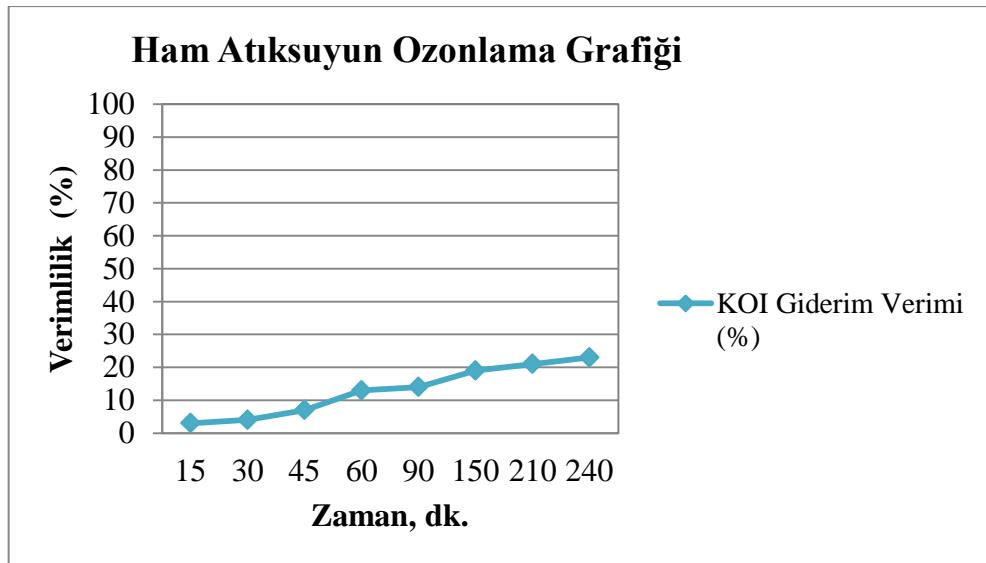
Atıksuyun ozonlanmasına ait veriler Çizelge 5.33'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.33.** Ham atıksuyun ozonlanması verileri (KN<sub>2</sub>O)

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
10290	15	250	144 mg ozon*	3856 mg ozon	10025	% 3
10290	30	500			9872	% 4
10290	45	750			9560	% 7
10290	60	1000			8946	% 13
10290	90	1500			8900	% 14
10290	150	2500			8377	% 19
10290	210	3500			8101	% 21
10290	240	4000			7926	% 23

\* : 240. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.

240 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 3856 mg ozon/20580 mg KOI= 0,187 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur. İkinci numuneye ait ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri grafiği Şekil 5.29'da gösterilmiştir.



**Şekil 5.29.** Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

KN<sub>2</sub> numunesi üzerinde FeCl<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kimyasalları ile yapılan jar test sonuç çizelgeleri ile de görüldüğü üzere FeCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>'e göre daha üstündür. Dolayısıyla kimyasal arıtma sonrası ozon uygulaması ve ozonlanmış suyun kimyasal arıtılması FeCl<sub>3</sub> ile yapılmıştır.

### 5.5.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları

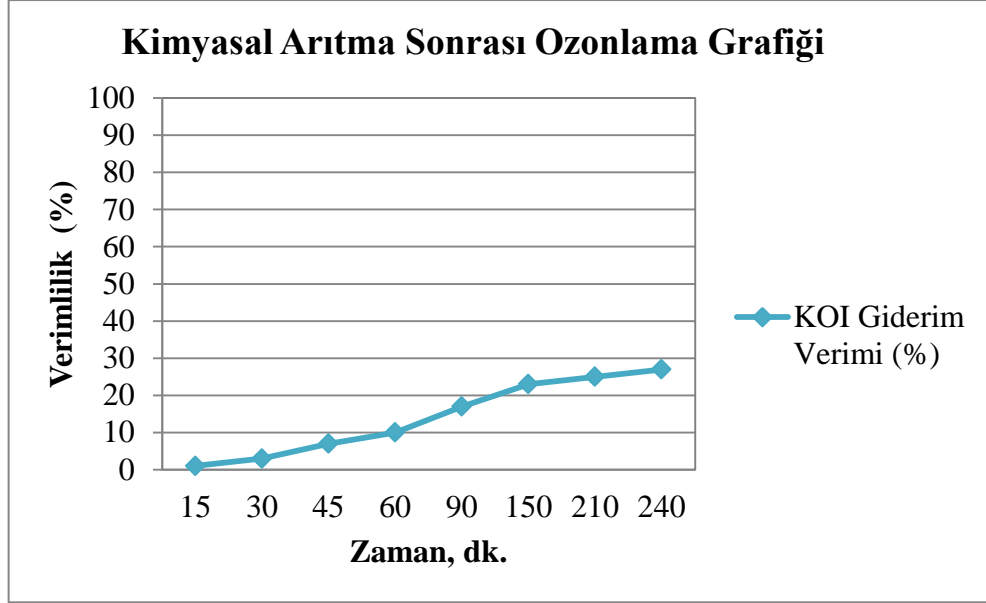
Çizelge 5.34'de çalışma sonuçları gösterilmiştir. FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri ise Şekil 5.30'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.34.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri (KN<sub>2</sub>K<sub>FeCl3</sub>O)

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7400	15	250	110,4 mg ozon*	3889,6 mg ozon	7327	% 1
7400	30	500			7182	% 3
7400	45	750			6889	% 7
7400	60	1000			6667	% 10
7400	90	1500			6141	% 17
7400	150	2500			5726	% 23
7400	210	3500			5583	% 25
7400	240	4000			5421	% 27

\* : 240. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.

240 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 3889,6 mg ozon/14800 mg KOI= 0,26 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur.



**Şekil 5.30.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

#### 5.5.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları

Ham atıksu ozonlandıktan sonra kimyasal arıtma işlemine tabi tutulmuştur. Çizelge 5.35’de arıtma verileri verilmiştir.

**Çizelge 5.35.** Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri

KN <sub>2</sub> OK <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10’luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %01’lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	7926	1200	5865	%26

#### 5.6. KN<sub>3</sub>’ün Koagülasyon-Flokülasyon ve Ozonlanma Sonuçları

Kuvvetli karakterli atıksu numunelerinden III. numuneye de diğer iki kuvvetli atıksu numunesine uygulanan koagülasyon-flokülasyon işlemi, ozonlama işlemi, koagülasyon-flokülasyon + ozonlama işlemi ve son olarak ta ozon + koagülasyon-flokülasyon işleminin sonuçları bu bölümde verilmiştir.

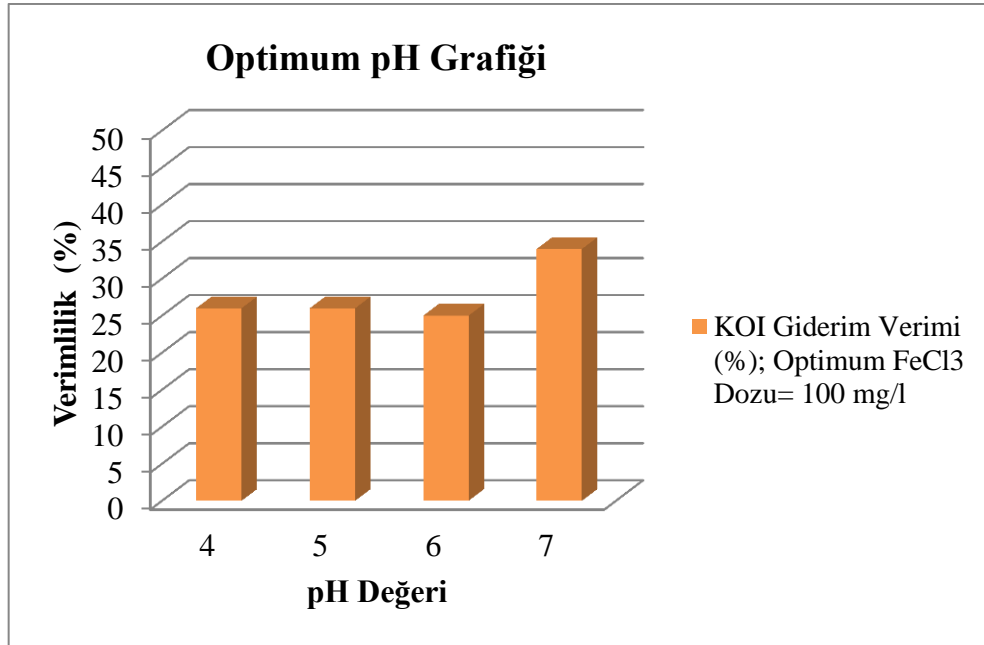
### 5.6.1. Koagülasyon-flokülasyon sonuçları

Kuvveli karakterli atıksu örneğinin üçüncü numunesi  $\text{KN}_3$  için çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir.  $\text{FeCl}_3$  ile optimum pH çalışması Çizelge 5.36'da verilmiştir.  $\text{FeCl}_3$  ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği grafiği ise Şekil 5.31'de verilmiştir.

Çizelge 5.36.  $\text{FeCl}_3$  ile optimum pH çalışması

$\text{KN}_3$ $\text{K}_{\text{FeCl}_3}$ : 500 ml atıksu + % 10'luk $\text{FeCl}_3$ + NaOH + %1'lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	9996	100	7446	%26
5	9996		7379	%26
6	9996		7212	%25
7	9996		6990	%30

Çizelge 5.36'dan görüldüğü gibi % 10'luk  $\text{FeCl}_3$  için optimum pH= 7 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.31.  $\text{FeCl}_3$  ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

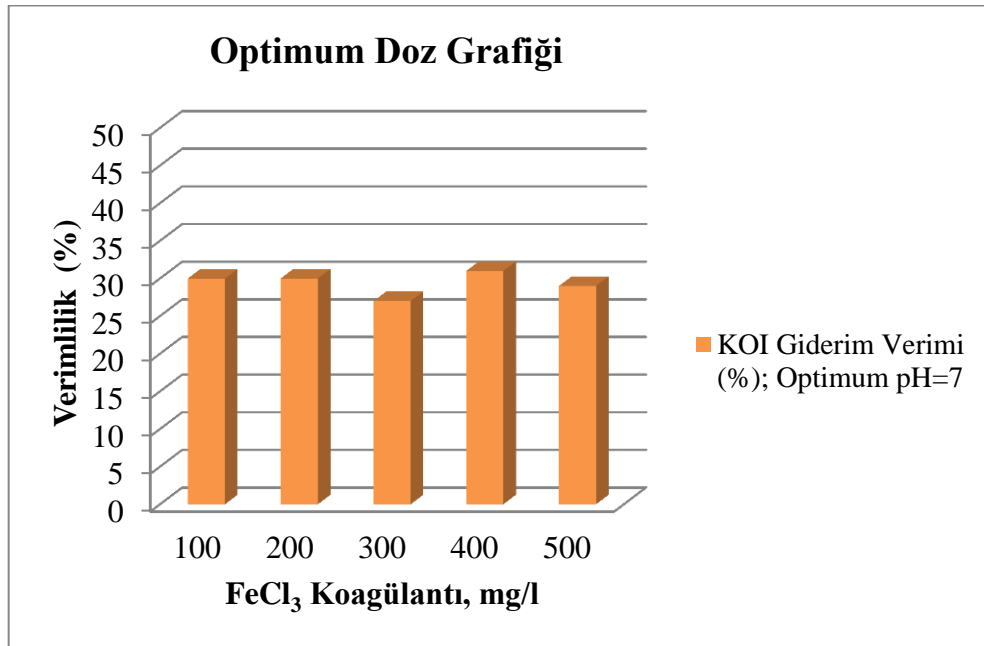
Optimum pH bulunduktan sonra optimum dozaj tespitine geçilmiştir. Kuvvetli karakterli atıksuyun üçüncü numunesinde % 10'luk  $\text{FeCl}_3$  ile yapılan optimum doz sonuçları Çizelge

5.37’de gösterilmiştir.  $\text{FeCl}_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği grafiği ise Şekil 5.32’de verilmiştir.

**Çizelge 5.37.**  $\text{FeCl}_3$  ile optimum doz çalışması

KN <sub>2</sub> K <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10’luk $\text{FeCl}_3$ + NaOH + %01’lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	9996	100	6990	%30
7	9996	200	6995	%30
7	9996	300	7304	%27
7	9996	400	6886	%31
7	9996	500	7061	%29

Çizelge 5.37’den görüldüğü gibi optimum dozaj 400 mg/l olarak tespit edilmiştir.



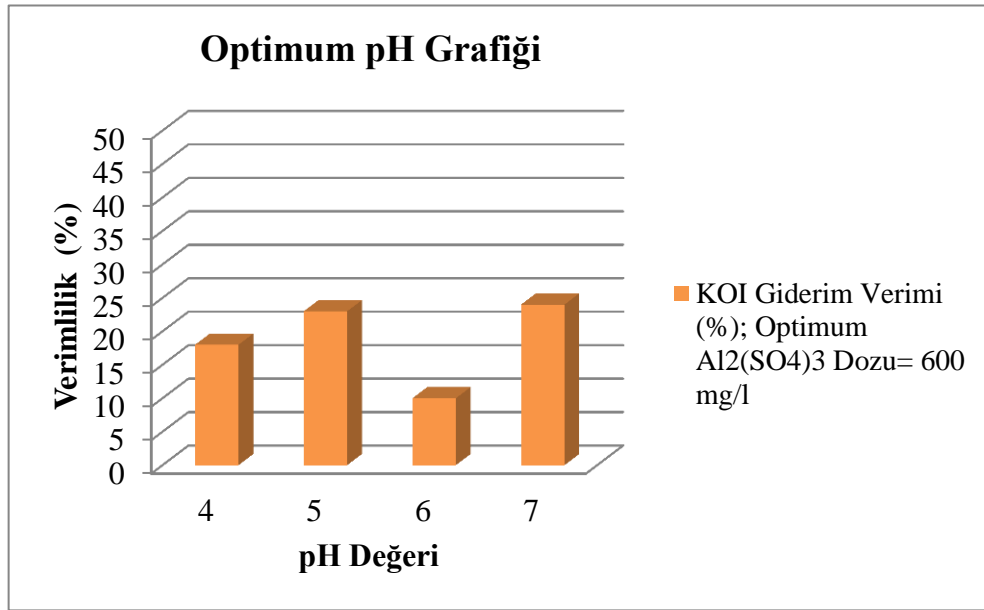
**Şekil 5.32.**  $\text{FeCl}_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  ile yapılan kimyasal arıtilabilirlik çalışması verileri Çizelge 5.38 ve Çizelge 5.39’da sunulmuştur.

Kuvvetli karakterli atıksu karakterizasyonuna sahip üçüncü numuneye ait  $Al_2(SO_4)_3$  ile gerçekleştirilen optimum pH çalışması verileri Çizelge 5.38’de ve grafiği ise Şekil 5.33’te verilmiştir.

**Çizelge 5.38.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması

KN <sub>3</sub> K <sub>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>: 500 ml atıksu + % 10’luk <math>Al_2(SO_4)_3</math> + NaOH + %1’lik Polimer (0,75 ml)</sub>				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
4	9996	600	8168	%18
5	9996		7676	%23
6	9996		9006	%10
7	9996		7603	%24



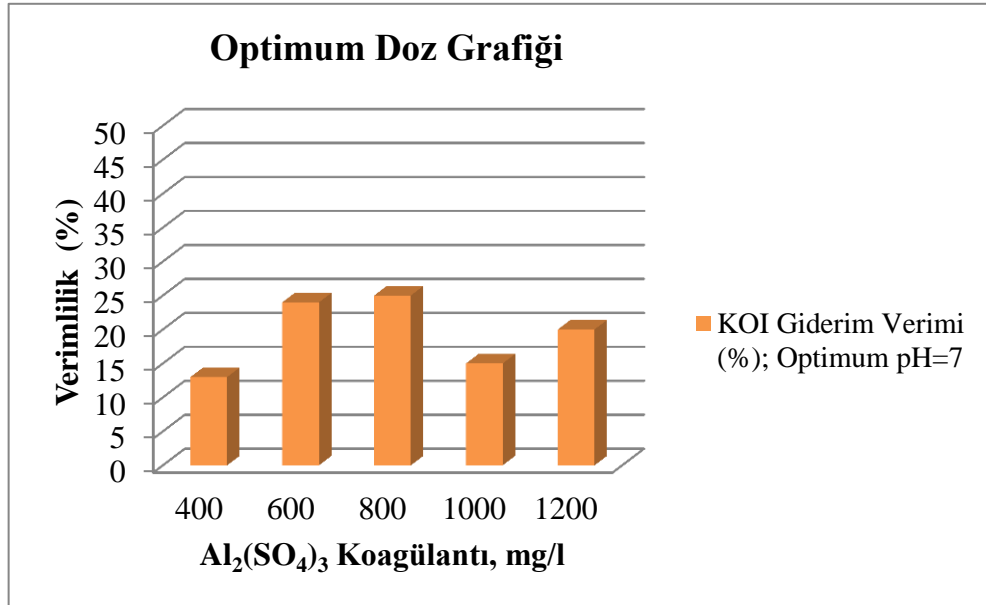
**Şekil 5.33.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum pH çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

Çizelge 5.38’den görüldüğü gibi KN<sub>3</sub> üzerinde  $Al_2(SO_4)_3$  ile yapılan çalışmada optimum pH=5 olarak bulunmuştur. Akabinde yapılan optimum doz çalışması sonuçları Çizelge 5.39’da ve bu çalışmanın grafiği de Şekil 5.34’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.39’un verimlilik sütununda görüldüğü üzere % 25’lik verim ile optimum dozun 800 mg/l olduğu belirlenmiştir.

**Çizelge 5.39.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması

KN <sub>3</sub> KAl <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> : 500 ml atıksu + % 10'luk $Al_2(SO_4)_3$ + NaOH + %0,1'lik Polimer (0,75 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	9996	400	8721	%13
7	9996	600	7603	%24
7	9996	800	7463	%25
7	9996	1000	8462	%15
7	9996	1200	8001	%20



**Şekil 5.34.**  $Al_2(SO_4)_3$  ile optimum doz çalışması sonucunda KOI giderim verimliliği

### 5.6.2. Ozonlama sonuçları

Kuvvetli karakterli ham atıksuyun ozonlanmasına ilişkin bilgiler Çizelge 5.40'ta verilmiştir.

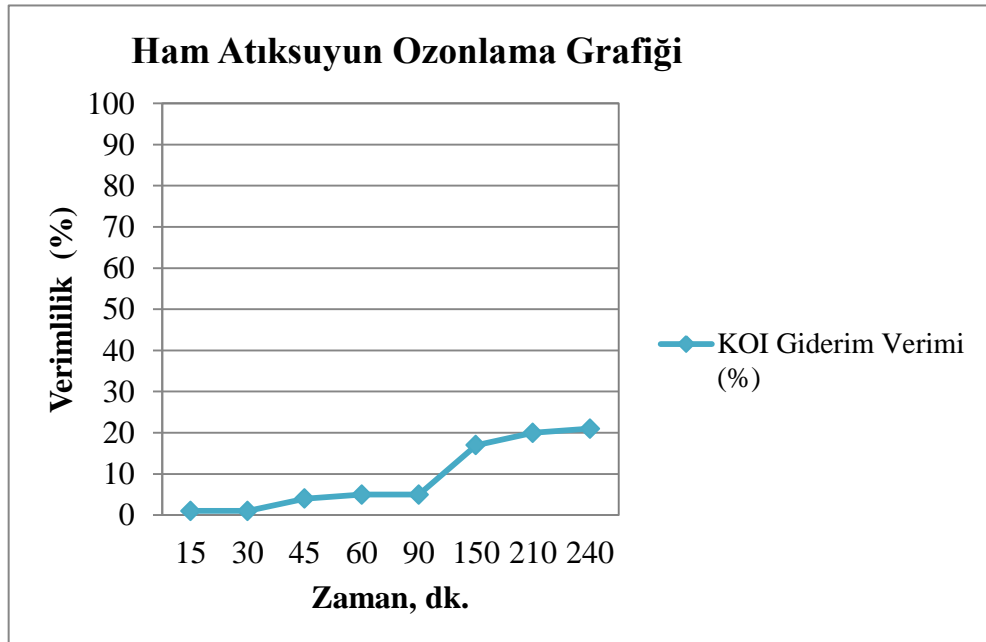
240 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 3947,2 mg ozon/19992 mg KOI= 0,195 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur. Üçüncü numuneye ait ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri Şekil 5.35'te verilmiştir.



**Çizelge 5.40.** Ham atıksuyun ozonlanması verileri (KN<sub>3</sub>O)

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
9996	15	250	52,8 mg ozon*	3947,2 mg ozon	9960	<% 1
9996	30	500			9928	<% 1
9996	45	750			9637	% 4
9996	60	1000			9546	% 5
9996	90	1500			9465	% 5
9996	150	2500			8326	% 17
9996	210	3500			8020	% 20
9996	240	4000			7870	% 21

\* : 240. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.



**Şekil 5.35.** Ham atıksuya uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimleri

KN<sub>3</sub> numunesi üzerinde FeCl<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> kimyasalları ile yapılan jar test sonuç çizelgeleri ile de görüldüğü üzere FeCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>'e göre daha üstündür. Dolayısıyla kimyasal arıtma sonrası ozon uygulaması FeCl<sub>3</sub> ile yapılmıştır.

### 5.6.3. Koagülasyon-flokülasyon + ozonlama sonuçları

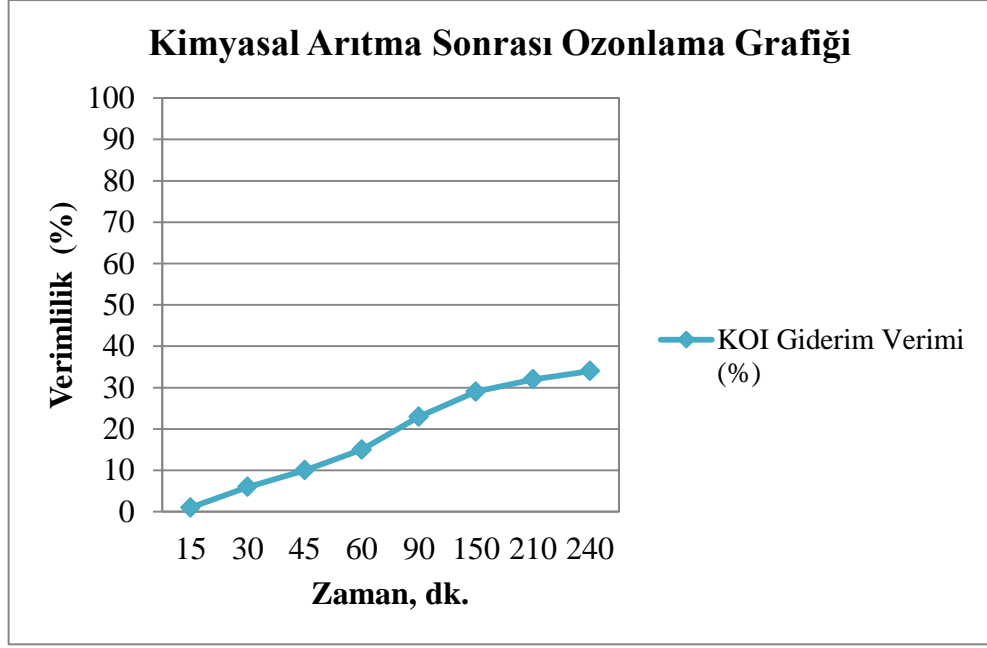
FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri Çizelge 5.41'de verilmiştir. FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrasında uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimliliği grafiği ise Şekil 5.36'da verilmiştir.

**Çizelge 5.41.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrası ozonlama verileri (KN<sub>3</sub>K<sub>FeCl<sub>3</sub>O</sub>)

Ozonlama İşlemi için Belirlenen Şartlar						
Atıksu Hacmi		: 2 l				
Hava Akım Hızı		: 10 l/dk.				
Ortam Havası ile Üretilen O <sub>3</sub> Miktarı		: 1 g/saat				
KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Zaman (dk.)	Uygulanan Ozon (mg)	Yıkama Şişesinde Tutulan Ozon (mg)	Kullanılan Ozon (mg)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
6886	15	250	88,8 mg ozon*	3911,2 mg ozon	6844	% 1
6886	30	500			6467	% 6
6886	45	750			6225	% 10
6886	60	1000			5846	% 15
6886	90	1500			5317	% 23
6886	150	2500			4891	% 29
6886	210	3500			4689	% 32
6886	240	4000			4536	% 34

\* : 240. dakikanın sonunda yıkama şişesinde tutulan ozon miktarıdır.

240 dakika sonunda uygulanan ozon dozu; 3911,2 mg ozon/13772 mg KOI= 0,285 mg ozon/mg KOI olarak bulunmuştur.



**Şekil 5.36.** FeCl<sub>3</sub> ile kimyasal arıtma sonrasında uygulanan ozonlama sonucunda KOI giderim verimliliği

#### 5.6.4. Ozon + koagülasyon-flokülasyon sonuçları

Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri Çizelge 5.42’de verilmiştir.

**Çizelge 5.42.** Ozonlanmış suyun kimyasal arıtma verileri

KN <sub>3</sub> OK <sub>FeCl3</sub> : 500 ml atıksu + % 10’luk FeCl <sub>3</sub> + NaOH + %1’lik Polimer (0,5 ml)				
pH	KOI <sub>giriş</sub> (mg/l)	Koagülant Miktarı (mg/l)	KOI <sub>çıkış</sub> (mg/l)	Verimlilik (%)
7	7870	800	5666	%28

## 5.7. Zayıf ve Kuvvetli Karakterli Atıksular için Toplam Giderim Verimleri

Çizelge 5.43. Zayıf ve kuvvetli karakterli atıksular için giderim verimleri

<b>Arıtılabilirlik Çalışmaları</b>	<b>ZN<sub>1</sub></b>	<b>ZN<sub>2</sub></b>	<b>ZN<sub>3</sub></b>	<b>KN<sub>1</sub></b>	<b>KN<sub>2</sub></b>	<b>KN<sub>3</sub></b>
Koagülasyon-Flokülasyon	%76	%88	%82	%45	%28	%29
Ozonlama	%44	%69	%34	%20	%23	%21
Koagülasyon-Flokülasyon Sonrası Ozonlama	%13	%13	%17	%37	%27	%34
(Koagülasyon-Flokülasyon + Ozonlama) Toplam Verimleri	%78	%89	%85	%65	%47	%55
Ozonlama Sonrası Koagülasyon-Flokülasyon	%46	%46	%67	%40	%26	%28
(Ozon + Koagülasyon-Flokülasyon) Toplam Verimleri	%69	%77	%78	%52	%43	%43

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler değerlendirildiğinde en genel anlamda aşağıdaki sonuç ve önerilere ulaşılmıştır.

- ❖ Ticari bir ürün niteliği kazanmış olan peyniraltı suyunun tam olarak geri kazanılamadığı durumlarda, tesise gelen atıksuyun organik madde içeriği oldukça artmaktadır.
- ❖ Zayıf ve kuvvetli karakterli atıksuların her ikisinde de  $FeCl_3$ , KOI giderim verimi bazında  $Al_2(SO_4)_3$ 'ten daha iyi sonuç vermiştir.
- ❖ Zayıf karakterli numunelerle yapılan çalışmalarda tek başına kimyasal arıtmanın verimi, kimyasal arıtma + ozonlama sonucu elde edilen verime yaklaşmıştır. Bu durumda bu karakterdeki atıksuların arıtılmasında çıkış standartları da dikkate alınarak ekonomik açıdan sadece kimyasal arıtma uygulaması düşünülebilir.
- ❖ Kimyasal arıtma ve ozonlama ile atıksuyun arıtılmasında, zayıf ve kuvvetli atıksu karakterlerinin her ikisinde de önce koagülasyon-flokülasyon ile kimyasal arıtma ve sonra ozonlama yapmanın toplam KOI gideriminde, ozonlamadan sonra koagülasyon-flokülasyon yapmaktan daha verimli olduğu görülmüştür. Burada kimyasal arıtma verimi ile yüksek moleküllü yağ, gres ve AKM'nin giderildiği ve böylelikle ozonlamanın veriminin yükseldiği düşünülebilir.
- ❖ Zayıf karakterli numunelerde ham atıksuyun ozonlanması sonucu elde edilen KOI giderim verimi, kimyasal arıtma sonrası uygulanan ozonlama veriminden daha yüksektir. Buna sebep olarak kimyasal arıtma sonrası kalan çözünmüş maddenin ozon tarafından okside edilmesi zor olan protein ve aminoasitler gibi maddeleri içermesi söylenebilir.
- ❖ Ham atıksuyun doğrudan kimyasal arıtma uygulamasındaki yüksek KOI giderim verimi, ozonlama sonrası kimyasal arıtma uygulamasında düşük olmuştur. Bu durumda ozonlama ile sıvıda oluşan kalıcı ozonun kimyasal arıtma verimine negatif etki ettiği varsayılabilir. Ayrıca ozon oksidasyonu sonucu ortaya çıkan ara ve yan ürünlerin zeta potansiyeli üzerinde değişiklik oluşturduğu da söylenebilir.

- ❖ Zayıf karakterli numunelerde direkt ozonlama verimi kimyasal arıtma sonrası ozonlama veriminden yüksek iken kuvvetli karakterli numunelerde kimyasal arıtma KOI değerini düşürdüğünden dolayı kimyasal arıtma sonrası ozonlamada ozon dozu artmış ve kimyasal arıtma sonrası KOI giderim verimi direkt ozonlamaya göre daha yüksek olmuştur.
- ❖ Kuvvetli karakterli atıksuda kimyasal arıtma sonrası 240 dk.lık uzun ozonlama süreleri ile dahi deşarj standardına yaklaşılammıştır. Kuvvetli karakterli atıksuların arıtılmasında biyolojik arıtma gibi alternatifler düşünölmelidir. Zayıf karakterli atıksularda ise kimyasal arıtma veya kimyasal arıtma sonrası ozonlama ile deşarj standardına ulaşılması mümkün görünmektedir.

## 7. KAYNAKLAR

- Anonim (2004a). Properties and structure of ozone. Lenntech Water treatment & purification Holding B.V, [www.lenntech.com/ozone/ozone-properties.htm](http://www.lenntech.com/ozone/ozone-properties.htm) (erişim tarihi, 25.11.2010).
- Anonim (2004b). Ozone generation. Lenntech Water treatment & purification Holding B.V, [www.lenntech.com/library/ozone/generation/ozone-generation.htm](http://www.lenntech.com/library/ozone/generation/ozone-generation.htm) (erişim tarihi, 25.11.2010).
- Anonim (2004c). Ozone reaction mechanisms. Lenntech Water treatment & purification Holding B.V, [www.lenntech.com/library/ozone/reaction/ozone-reaction-mechanisms.htm](http://www.lenntech.com/library/ozone/reaction/ozone-reaction-mechanisms.htm) (erişim tarihi, 27.11.2010).
- Anonim (2004d). Ozone decomposition. Lenntech Water treatment & purification Holding B.V, [www.lenntech.com/library/ozone/decomposition/ozone-decomposition.htm](http://www.lenntech.com/library/ozone/decomposition/ozone-decomposition.htm) (erişim tarihi, 26.11.2010).
- Anonim (2006). Süt Endüstrisinden Kaynaklanan Çevre Sorunları. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Su ve Toprak Dairesi, [www.styd-cevreorman.gov.tr/aritma\\_tesisleri.htm](http://www.styd-cevreorman.gov.tr/aritma_tesisleri.htm) (erişim tarihi, 13.03.2010).
- Anonim (2007). Dokuzhöyük Köyü Tarımsal Kalkınma Kooperatifi Tarihçesi. Dokuzhöyük.com, [www.dokuzhoyukkoyu.8m.com/kooperatif.htm](http://www.dokuzhoyukkoyu.8m.com/kooperatif.htm) (erişim tarihi, 04.10.2010)
- Anonim (2008). Yoğurt Nasıl Yapılır? Gıdacılar.net, [www.gidacilar.net/yogurt-nasil-yapilir-t797.html](http://www.gidacilar.net/yogurt-nasil-yapilir-t797.html) (erişim tarihi, 17.02.2011).
- Anonim (2009a). Homojenizasyon. StandartMerkezi, [www.standartmerkezi.com/index.php?option=com\\_kunena&Itemid=69&func=view&catid=21&id=1150-homojenizasyon](http://www.standartmerkezi.com/index.php?option=com_kunena&Itemid=69&func=view&catid=21&id=1150-homojenizasyon) (erişim tarihi, 03.04.2011)
- Anonim (2009b). Tereyağı Üretimi. Standart Merkezi, [www.standartmerkezi.com/index.php?option=com\\_kunena&Itemid=69&func=view&catid=21&id=206#349-tereyağı\\_üretimi](http://www.standartmerkezi.com/index.php?option=com_kunena&Itemid=69&func=view&catid=21&id=206#349-tereyağı_üretimi) (erişim tarihi, 07.09.2010).
- Anonim (2009c). Ozon Üretimi ve Uygulanması. Opal Ozon Sistemleri. [www.opalsu.com.tr/ozon.php?ozon=ozonuretimi&menu=ozonmenu](http://www.opalsu.com.tr/ozon.php?ozon=ozonuretimi&menu=ozonmenu) (erişim tarihi, 09.01.2011).
- Anonim (2009d). Klarifikasyon. StandartMerkezi, [www.standartmerkezi.com/index.php?option=com\\_kunena&Itemid=69&func=view&catid=21&id=1146](http://www.standartmerkezi.com/index.php?option=com_kunena&Itemid=69&func=view&catid=21&id=1146) (erişim tarihi, 06.06.2011)
- Anonim (2010). Ozone Properties. Ozone Solutions, [www.ozoneapplications.com/info/ozone\\_properties.htm](http://www.ozoneapplications.com/info/ozone_properties.htm) (erişim tarihi, 09.01.2011).
- Anonim (2011). Peyniraltı Suyu Tozu. Milsı, [www.topraksut.com/urunlerimiz.asp](http://www.topraksut.com/urunlerimiz.asp) (erişim tarihi, 10.04.2011).
- APHA (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Ed., American Public Health Association, Washington D.C.
- Baig S, Shahjahan S ve Kausar T (1999). Methane production from dairy wastewater. Journal of Scientific and Industrial Research, 58: 543-546.

- Banik GC ve Dague RR (1997). ASBR treatment of low strength industrial wastewater at psychrophilic temperatures. *Water Science and Technology*, 36: 337-344.
- Banu JR, Anandan S, Kaliappan S ve Yeom IT (2008). Treatment of dairy wastewater using anaerobic and solar photocatalytic methods. *Solar Energy*, 82: 812-819.
- Başkaran K, Palmowski LM ve Watson BM (2000). Wastewater reuse and treatment options for the dairy industry. *Water Science and Technology*, 3: 85-91.
- Batıbay A (2008). Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama ile Renk ve KOI Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, BAPK, İstanbul.
- Beltrán FJ (2004). *Ozone Reaction Kinetics for Water and Wastewater Systems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Blanc F ve Navia R (1990). Treatment of dairy wastewater by chemical coagulation, Proceedings of the 45th Industrial Waste Conference, Purdue University, USA, 681-689.
- Danalewich JR, Papagiannisi TG, Belyea RL, Tumbleson ME ve Raskin L (1998). Characterization of dairy waste streams, current treatment practices and potential for biological nutrient removal. *Water Research*, 32 (12): 3555-3568.
- Demir A, Kanat G, Debik E ve Ağaçcıoğlu H (2000). Endüstriyel Atıksuların Arıtım, Denetim ve Kontrolü Semineri. Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Demirel B, Yenigün O ve Onay TT (2005). Anaerobic treatment of dairy wastewater: a review. *Process Biochemistry*, 40: 2583-2595.
- Deniz H (2008). Filtrasyonda Kesikli Ön Ozonlama ve Polimer Eklenmesinin Su Kalitesi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- Ekdal A (2000). Süt ve Süt Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- EPA (1999). *Wastewater Technology Fact Sheet Ozone Disinfection*. United States Environmental Protection Agency, EPA 832-F-99-063, Office of Water Washington, D.C.
- Ersoy D ve Sanver S (1994). Ozon Tabakasının Yırılması ve Dünya için Önemi. *Ekoloji Çevre Dergisi*, İstanbul.
- Gavala HN, Skiadas IV, Nikolaos AB ve Lyberatos G (1996). Anaerobic digestion of agricultural industries wastewaters. *Water Science and Technology*, 34: 67-75.
- Goldstein J (2004). Reducing greenhouse gas emissions and electrical power costs. *BioCycle*, 45: 35-37.
- Gottschalk C, Libra JA ve Saupe A (2000). *Ozonation of water and wastewater: a practical guide to understanding ozone and its application*. Wiley- VCH, 189, Germany.
- Göblös Sz, Portörő P, Bordás D, Kálmán M ve Kiss I (2007). Comparison of the effectivities of two phase and single-phase anaerobic sequencing batch reactors during dairy wastewater treatment. *Renewable Energy*, 33: 960-965.
- Gunten U (2003). Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. *Water Research*, 37: 1443-1467.



- Güneş Y (2006). Pestisit Endüstrisi Zararlı Atıklarının Arıtılmasında İnhibisyon. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hamoda MF ve Al-Awadi SM (1996). Improvement of effluent quality for reuse in a farm. *Water Science and Technology*, 33: 79-85.
- Iglesias SC (2002). Degradation and Biodegradability Enhancement of Nitrobenzene and 2,4-Dichlorophenol by Means of Advanced Oxidation Processes Based on Ozone. PhD Thesis, Universitat De Barcelona Facultat De Química Departament D'Enginyeria Química I Metal·Lúrgia, Barcelona.
- İnce O (1998). Performance of two-phase anerobic digestion system when treating dairy wastewater. *Water Research*, 32: 2707-2713.
- Jomaa S, Shanableh A, Khalil W ve Trebilco B (2003). Hydrothermal decomposition and oxidation of the organic component of municipal and industrial waste products. *Advances in Environmental Research*, 7: 647-653.
- Karpati A, Bencze L ve Boszeki J (1989). New Phisico-Chemical Pretreatment of Dairy Effluents. *International Symposium on Waste Management Problems in Agro - Industries*, İstanbul, 121-128.
- Kavacık B ve Topaloğlu B (2007). Peynir Altı Suyu ve Gübre Karışımında Biyogaz Üretimi. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Yaşam Çevre Teknoloji, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası.
- Keller J, Subramaniam K, Gosswein J ve Greenfield PF (1997). Nutrient removal from industrial wastewater using single tank sequencing batch reactors. *Water Science and Technology*, 35: 137-144.
- Kılıç A (2006). Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Ardışık Kesikli Reaktör (SBR)' de Hareketli Biofilm Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kılıçer T (2006). Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Atıksuyunun Aktif Karbon, Zeolit ve Ozon Kullanılarak Arıtımının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Kocaer O ve Alkan U (2002). Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1.
- Küçükgül EY ve Türkman A (2004). Kimyasal Arıtma. Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarım ve Kontrol Esasları, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayını, İstanbul, 3.1-3.35.
- Lamarre L (1997). A fresh looks at ozone. *The EPRI Journal*, 22: 6-16.
- Langlais B, Reckhow DA ve Brink DR (1991). *Ozone in Water Treatment: Application and Engineering*. MI: Lewis Publishers, Chelsea.
- Marshall KR ve Harper WJ (1984). Treatment of wastes from the dairy industry. In *Surveys in Industrial Wastewater Treatment*, eds. Barnes D, Forster CF ve Hruday SE. Pitman Advanced Publishing Program, Boston, 1: 296-376.
- MEB (2007). MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi). Ayran, Gıda Teknolojisi, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

- McGrath RJ ve Mason IG (2004). An Observational Method for the Assessment of Biogas Production from an Anaerobic Waste Stabilisation Pond Treating Farm Dairy Wastewater. *Biosystems Engineering*, 87: 471-478.
- Metcalf ve Eddy (2003). *Disinfection Processes. Wastewater Engineering Teratment and Reuse*, Fourth Edition McGraw - Hill Higher Education. McGraw - Hill Companies, New York, 1286-1295.
- Ntampou X, Zouboulis AI ve Samaras P (2006). Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates. *Chemosphere*, 62: 722-730
- Orhon D ve Artan N (1984). Endüstriyel atıksuların kontrol ve kısıtlama esasları projesi. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü. Süt ve süt endüstrisi, İ.T.Ü. Çevre ve Şehircilik Uygulama Araştırma Merkezi, 147, İstanbul.
- Orhon D, Görgün E, Germirli F ve Artan N (1993). Biological treatability of dairy wastewaters. *Water Research*, 27: 625-633.
- Ölmez T (2006). Evaluation of The Mechanism of Multiple Substrate Removal by Ozone Oxidation. Ph.D. Thesis, İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Environmental Engineering, İstanbul.
- Önsoy D (2007). Direkt Filtrasyonda Ön Ozonlama Geciktirme Süresinin Filtre Verimliliğine Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- Öztürk İ, Eroğlu V, Ubay G ve Demir İ (1993). Hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor (HUASBR) treatment of dairy effluents. *Water Science and Technology*, 28: 77-85.
- Perincek SD (2006). Ozon, UV, Ultrason Teknolojileri ve Kombinasyonlarının Ön Terbiye İşlemlerinde Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bornova, İzmir.
- Perle M, Kimchie S ve Shelef G (1995). Some biochemical aspects of the anaerobic degradation of dairy wastewater. *Water Research*, 29: 1549-1554.
- Rajeshwari KV, Balakrishnan M, Kansal A, Lata K ve Kishore VVN (2000). State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4: 135-156.
- Rakness KL (2005). Introduction. *Ozone in Drinking Water Treatment: Process Design, Operation and Optimization*, Ed: Mary Kay Kozyra. American Water Works Association, United States of America, 1-16
- Ramasamy EV ve Abbasi SA (2000). Energy recovery from dairy waste-waters: Impacts of biofilm support systems on anaerobic CST reactors. *Applied Energy*, 65: 91-98.
- Rice RG (1999). Evolution of Ozone for Water Treatment. Proc. International Ozone-Symposium, 200th Anniversary of Christian Friedrich Schönbein. International Ozone Association, EA3G: Stamford, CT.
- Rosenthal I (1991). *Milk and dairy products. Properties and processing*. VCH Verlagsgesellschaft mbH publisher, 217, Germany.

- Rusten B, Eikebrokk B ve Thorvaldsen G (1990). Coagulation as pretreatment of food industry wastewater. *Water Science and Technology*, 22: 1-8.
- Samsunlu A (2006). Atıksuların Arıtılması. Birsen Yayınevi, 640, İstanbul.
- Sarkar B, Chakrabarti PP, Vijaykumar A ve Kale V (2005). Wastewater treatment in dairy industries-possibility of reuse. *Desalination*, 195: 141-152.
- Sevimli MF (2000). Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama ile Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sirianuntapiboon S, Jeeyachok N ve Larplai R (2005). Sequencing batch reactor biofilm system for treatment of milk industry wastewater. *Journal of Environmental Management*, 76: 177-183.
- Şengil İA ve Özacar M (2006). Treatment of dairy wastewaters by elektrocoagulation using mild steel electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, B137: 1197-1205.
- Tanık A, Ateş-Genceli E ve Ekdal A (2002). Chemical treatability of dairy wastewater. *Environmental Management and Health*, 13: 163-174.
- Tanrıverdi HK ve Çınlar C (2005). Ozon Nasıl Oluşur? Aflon Teknoloji Araştırma ve Geliştirme A.Ş., [www.aflon.net/ozon\\_olusum.htm](http://www.aflon.net/ozon_olusum.htm) (erişim tarihi, 09.01.2011).
- Tatsi AA, Zouboulis AI, Matis KA ve Samaras P (2003). Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*, 53: 737-744.
- Tawfik A, Sobhey M ve Badawy M (2008). Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desalination*, 227: 167-177.
- Toprak H (1999). Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Turan M (2004). Influence of filtration conditions on the performance of nanofiltration and reverse osmosis membranes in dairy wastewater treatment. *Desalination*, 170: 83-90.
- Tünay O (1996). Endüstriyel Kirlenme Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 128, İstanbul.
- Uçar M (1999). Kırklareli İli'nde Süt Sanayinin Sektör Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Kırklareli.
- Uygur A, Kargı F ve Başkaya HS (2003). Ardışık Kesikli Reaktör ile Nutrient Gideriminde Farklı Karbon Kaynaklarının Etkileri. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 5: 9-16.
- Vidal G, Carvalho A, Mendez R ve Lema JM (2000). Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresource Technology*, 74: 231 - 239.

## **ÖZGEÇMİŞ**

1985 yılında Denizli’de doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimlerini Denizli’de tamamladıktan sonra 2004-2005 eğitim-öğretim yılında Trakya Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2008 yılında Çevre Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Lisans öğreniminden sonra Bahar Arıtma Sistemleri Mühendislik ve İmalat San. Tic. Ltd. Şti. firmasında başlamış olduğu “Çevre Mühendisliği” görevine halen devam etmektedir.