

**T.C.**  
**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ**  
**SIZINTI SULARININ FOTO-FENTON**  
**PROSESİYLE ARITILABİLİRLİĞİNİN**  
**ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan**  
**Duygu ÖZÇELİK**

**Tez Danışmanı**  
**Dr.Öğr. Üyesi Hüseyin CÜCE**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yüksek Lisans Tezi**

**MAYIS 2022**

**NEVŞEHİR**



Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin CÜCE danışmanlığında Duygu ÖZÇELİK tarafından hazırlanan “**Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi Sızıntı Sularının Foto-Fenton Prosesiyle Arıtılabilirliğinin Araştırılması**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

.../.../2022

**JÜRİ**

**İMZA**

Başkan : Doç. Dr. Fulya AYDIN TEMEL

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin CÜCE

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../2022 tarih ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

.../.../2022

Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

**Tezi Hazırlayan**  
Duygu ÖZÇELİK

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimlerinden daima yararlandığım, danışmanım saygıdeğer hocam Dr.Öğr.Üyesi Hüseyin CÜCE'ye her anlamda katkılarını ve desteğini esirgemeyen tez boyunca beni yönlendiren sabır ve anlayışı, bana inanıp güvendiği ve her konuda desteklerini esirgemeyip yanımda olduğu için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Meslek hayatıma başladığım günden beri beni yetiştiren, işine sevgisiyle ilgisiyle örnek aldığı, kendisinden çok şey öğrendiğim ve yüksek lisans dönemimde desteğini esirgemeyen değerli müdürüm Sebahattin VURAL'a

Tecrübe ve bilgileriyle her zaman yanımda olan stresime ortak olan, yol gösteren ve varlığıyla bana destek veren meslektaşım, canım arkadaşım Büşra Özlem TOPÇU'ya

Tüm eğitim sürecim boyunca maddi manevi destek ve ilgisini benden esirgemeyen değerli aileme anneme, babama, kardeşlerim Demet ve Beyza Nur'a,

Tez sürecimde minik tekmeleriyle varlığını öğrendiğim, tez sürecimin sonlarında hayatıma giren gülücükleriyle bana ilham veren güzel kızım Melis Ayça'ya,

Her zaman yanımda olan ve benimle bu stresi paylaşarak beni yalnız bırakmayan, çalışmalarım konusunda destek olan kıymetli eşim, meslektaşım Mert ÖZÇELİK'e

En içten duygularıyla teşekkür ederim.

**KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA TESİSİ SIZINTI SULARININ  
FOTO-FENTON PROSESİYLE ARITILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Duygu ÖZÇELİK**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mayıs 2022**

**ÖZET**

Sızıntı suları yüksek konsantrasyon değerlerine sahip, karmaşık yapısı ve arıtılmasının zor olması nedeniyle çeşitli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu çalışmada katı atık sızıntı sularının arıtılması için ileri oksidasyon proseslerinden klasik fenton ve foto fenton prosesleri uygulanarak arıtım hedeflenmiştir. Sivas İli Katı Atık Düzenli Depolama Tesisinin sızıntı suyundan numuneler alınmıştır. Alınan numunelere değişken miktarlarda  $Fe^{+2}$  ve  $H_2O_2$  dozları eklenerek denemeler yapılmıştır. Optimum değerler belirlenmiştir.  $Fe^{+2}$  ve  $H_2O_2$  dozunun etkisi, reaksiyon süresi, ışık yoğunluğunun arıtım üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında sızıntı sularının fenton ve foto fenton proseslerinde KOİ giderim verimleri izlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi  $23\pm 2$  °C'de 400 rpm hızlı 90 rpm yavaş karıştırmada toplam 45 dakikalık reaksiyon süresinde, pH değeri 3 olarak klasik fenton prosesinde 300 mg/L  $Fe^{+2}$ / 500 mg/L  $H_2O_2$ 'de %62,7 KOİ giderimi, foto fenton prosesinde ise en iyi arıtım; 64 watt ultraviyole lamba altında, 300 mg/L  $Fe^{+2}$ /1000 mg/L  $H_2O_2$  değerinde %89 en iyi KOİ giderimi olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Foto-Fenton, Katı atık, sızıntı suyu*

**Tez Danışmanı:** Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin CÜCE

**Sayfa Sayısı:** 83

**INVESTIGATION OF THE TREATABILITY OF SOLID WASTE  
STORAGE FACILITY LEAKWATER BY PHOTO-FENTON PROCESS**

**(MASTER'S THESIS)**

**Duygu ÖZÇELİK**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY**

**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**May/2022**

**ABSTRACT**

Leachate waters cause various environmental problems due to their high concentration values, complex structure and difficult treatment. In this study, treatment of solid waste leachate was aimed by applying classical fenton and photofenton processes, which are advanced oxidation processes. Samples were taken from the leachate of the Sivas Solid Waste Landfill Facility. Experiments were made by adding varying amounts of  $Fe^{+2}$  and  $H_2O_2$  doses to the samples taken. Optimum values have been determined. The effects of  $Fe^{+2}$  and  $H_2O_2$  dose, reaction time, light intensity on purification were investigated. In this thesis study, the COD removal efficiencies of leachate in Fenton and Photo Fenton processes were monitored. As a result of the experiments, the best reaction time was  $23\pm 2$  °C at 400 rpm fast 90 rpm slow mixing, in a total reaction time of 45 minutes, with a pH value of 3 in the classical Fenton process, 62% in 300 mg/L  $Fe^{+2}$ / 500 mg/L  $H_2O_2$ , 7 COD removal, the best treatment in the photofenton process; It was observed that under 64 watt ultraviolet lamp, the best COD removal of 89% at 300 mg/L  $Fe^{+2}$ /1000 mg/L  $H_2O_2$ .

**Keywords:** *Photo-Fenton, Solid waste, leachate*

**Thesis Supervisor:** Assist. Prof. Dr. Hüseyin CÜCE

**Page Number:** 83

# İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
KISALTMALAR .....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xii
RESİMLER LİSTESİ .....	xiv
<b>BÖLÜM 1</b>	
<b>GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 2</b>	
<b>KATI ATIK KAVRAMI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Atık Kavramı.....	3
2.2. Katı Atık Kavramı.....	5
2.3. Katı Atık Türleri.....	6
2.3.1. Evsel atıklar.....	7
2.3.2. Ticarî ve kurumsal atıklar .....	8
2.3.3. Belediye işlevleriyle ilgili atıklar .....	8
2.3.4. Tarımsal atıklar .....	8
2.3.5. Tıbbi atıklar .....	8
2.3.6. İnşaat ve hafriyat atıkları.....	9
2.3.7. Özel atıklar .....	9
2.3.8. Endüstriyel atıklar .....	9



2.4. Katı Atık Yönetimi.....	9
2.4.1. Sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir katı atık yönetimi.....	11
2.4.2. Sürdürülebilir kalkınma .....	11
2.4.3. Sürdürülebilir katı atık yönetimi .....	13
2.4.4. Entegre katı atık yönetimi .....	13
2.5. Katı Atıkların Toplanması ve Taşınması .....	16
2.6. Türkiye'de Katı Atık Toplama .....	16

### **BÖLÜM 3**

<b>SIZINTI SUYU KAVRAMI.....</b>	<b>18</b>
3.1. Sızıntı Suyu Oluşumu ve Miktarı.....	18
3.2. Sızıntı Suyunun Özellikleri.....	19
3.3. Sızıntı Suyu Özelliklerini Etkileyen Faktörler.....	19
3.4. Sızıntı Suyu Özellikleri.....	20
3.5. Sızıntı Suyu Arıtımı .....	22

### **BÖLÜM 4**

<b>FENTON PROSESİYLE ATIKSU ARITIMI .....</b>	<b>24</b>
4.1. Fenton Prosesini Etkileyen Faktörler .....	24
4.1.1. pH.....	24
4.1.2. Demir iyonu konsantrasyonu .....	24
4.1.3. Hidrojen peroksit konsantrasyonu .....	24
4.1.4. Sıcaklık.....	24
4.1.5. Kirletici konsantrasyonu .....	25
4.1.6. Tamponlayıcı tipi .....	25
4.2. Fenton Prosesin Varyasyonları .....	25
4.2.1. Foto-Fenton proses.....	25

4.2.3. Elektro-Fenton proses	25
4.3. Fentonun Kullanım Alanları	26
4.3.1. Patlayıcılar	27
4.3.2. Anilin	27
4.3.3. Karbon tetraklorid	27
4.3.4. Metil tert-butil eter (MTBE)	28
4.4. Endüstride	28
4.4.1. Tekstil endüstrisi	28
4.4.2. Afyon alkoloidleri endüstrisi	29
4.4.3. Kağıt endüstrisi	29
4.4.4. Zeytinyağı endüstrisi	30
4.5. Dezenfeksiyonda	30
4.6. Pestisit oksidasyonunda	30
4.7. Çamur şartlandırma	31
4.8. Katı atık sızıntı suyu arıtımında	31
4.9. Sızıntı Suyu Arıtımına İlişkin Literatür Taraması	32
<b>BÖLÜM 5</b>	
<b>MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>36</b>
5.1. Çalışması Yürütülen Tesisin Tanıtımı	36
5.1.1. Sivas Belediyesi katı atık tesisi	36
5.2. Materyal	37
5.3. Yöntem	39
5.3.1. Analizlerde kullanılan çözeltilerin hazırlanması	39
5.3.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizi	40

## **BÖLÜM 6**

<b>BULGULAR</b> .....	<b>45</b>
6.1. Klasik Fenton Prosesi.....	45
6.1.1. Klasik Fenton prosesinde yapılan pH optimizasyon deneyleri .....	45
6.1.2. Klasik Fenton prosesinde Fe <sup>+2</sup> dozajının etkisi.....	45
6.1.3. Klasik Fenton prosesinde H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> dozajının etkisi .....	47
6.1.4. Klasik Fenton prosesinde optimum arıtım süresinin belirlenmesi.....	48
6.2. Foto Fenton Optimizasyonu Deneyleri .....	55
6.2.3. Foto Fenton prosesinde optimum arıtım süresinin belirlenmesi .....	59
6.3. Foto-Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğu Deneyleri.....	67
<b>BÖLÜM 7</b>	
<b>SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER</b> .....	<b>72</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>74</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>81</b>

## KISALTMALAR

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	: Hidrojen peroksit
Fe <sup>+2</sup>	: Demir (II)
FeSO <sub>4</sub>	: Demir II Sülfat
OH	: Hidroksil radikali
O <sub>3</sub>	: Ozon
UV	: Ultraviyole ışık
UV-c	: 254 nm Ultraviyole Işık Radyasyonu
Nm	: Nanometre (ışık birimi)
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı (İng.: COD)
PPM	: mg çözünen / litre çözelti (1 ppm = 1 mg/L = 0,001 gr/L)
pH	: pH değeri
Fe <sup>+3</sup>	: Demir (III)
O <sub>2</sub>	: Oksijen
BOİ <sub>5</sub>	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı (5 günlük)
TOK	: Toplam Organik Karbon (İng.: TOC)
M	: Molar
Dk	: Dakika
İOP	: İleri Oksidasyon Prosesleri (İng.: AOP)
N	: Normal
Cu <sub>2+</sub>	: Bakır (II)
Ag <sup>+</sup>	: Gümüş (I)
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	: Aluminyum sülfat
FeCl <sub>3</sub>	: Demir (III) klorür
TiO <sub>2</sub>	: Titanyum oksit
SO <sub>2</sub>	: Kükürt dioksit
Cr <sub>6+</sub>	: Krom (IV)
Cr <sub>3+</sub>	: Krom (III)
SO <sub>3</sub>	: Kükürttrioksit
SO <sub>4</sub>	: Sülfat
H <sub>2</sub> O	: Su
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	: Potasyum di kromat
λ	: Dalga Boyu (ışık)

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kaynaklarına göre katı atık türleri [5] .....	7
Tablo 3.1. Atıklarda hızlı ve yavaş biyodegradasyona uğrayan organik maddeler .....	20
Tablo 3.2. Sızıntı sularının çeşitli stabilizasyon fazlarındaki karakteri .....	22
Tablo 6.1. pH değerleri .....	45
Tablo 6.2. Klasik Fentonda $Fe^{+2}$ optimizasyonu verileri .....	46
Tablo 6.3. Klasik Fenton prosesine göre $H_2O_2$ optimizasyonu analiz sonuçları.....	47
Tablo 6.4. Klasik Fentonda zamana bağlı KOİ konsantrasyon değişimleri.....	48
Tablo 6.5. Klasik Fentonda zamana bağlı KOİ konsantrasyon değişimleri.....	52
Tablo 6.6. Foto-Fenton prosesine göre $Fe^{+2}$ optimizasyonu verileri .....	55
Tablo 6.7. Foto-Fenton prosesinde 100 mg/L $Fe^{+2}$ , de KOİ verileri .....	56
Tablo 6.8. Foto-Fenton prosesinde KOİ verileri (125 mg/L $Fe^{+2}$ sbt).....	57
Tablo 6.9. Foto-Fenton prosesine göre $H_2O_2$ optimizasyonu verileri.....	59
Tablo 6.10. Foto-Fenton prosesinde zamana bağlı KOİ konsantrasyon değişimleri .....	60
Tablo 6.11. Foto-Fenton prosesinde zamana bağlı KOİ konsantrasyon değişimleri .....	63
Tablo 6.12. Klasik ve foto-Fentonda kinetik modellerin korelasyon katsayıları ve sabitleri .....	66
Tablo 6.13. Farklı ışık yoğunluğu altında foto-Fenton arıtma performans verileri (300 mg/L $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L $H_2O_2$ ) .....	67
Tablo 6.14. Farklı ışık yoğunluğu altında foto-Fenton arıtma performans verileri (125 mg/L $Fe^{+2}$ /400 mg/L $H_2O_2$ ) .....	68
Tablo 6.15. Sızıntı suyuyla yapılan benzer literatür çalışmaları .....	69

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Katı atık hiyerarşisi .....	16
Şekil 3.1. Depo alanında sızıntı suyunun oluşumu .....	18
Şekil 6.1. Klasik Fenton prosesinde KOİ giderim verimi üzerine pH'ın etkisi .....	45
Şekil 6.2. Klasik Fenton prosesinde $Fe^{+2}$ optimizasyonuna karşı KOİ giderim verimi ..	46
Şekil 6.3. Klasik Fenton prosesinde $H_2O_2$ optimizasyonuna karşı KOİ giderim verimi	48
Şekil 6.4. Klasik Fenton prosesinde zamana bağlı KOİ giderim verimi.....	49
Şekil 6.5. Klasik Fentonda 300 mg/L $Fe^{+2}$ /500 mg/L $H_2O_2$ 'de 0. derece kinetik modeli .....	51
Şekil 6.6. Klasik Fentonda 300 mg/L $Fe^{+2}$ /500 mg/L $H_2O_2$ 'de 1. derece kinetik modeli .....	51
Şekil 6.7. Klasik Fentonda 300 mg/L $Fe^{+2}$ /500 mg/L $H_2O_2$ 'de 2. derece kinetik modeli .....	51
Şekil 6.8. Klasik Fentonda 300 mg/L $Fe^{+2}$ /500 mg/L $H_2O_2$ 'de BMG kinetik modeli ....	52
Şekil 6.9. Klasik Fenton prosesinde zamana bağlı KOİ giderim verimi.....	53
Şekil 6.10. Klasik Fentonda 300 mg/L $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L $H_2O_2$ 'de 0. derece kinetik modeli .....	53
Şekil 6.11. Klasik Fentonda 300 mg/L $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L $H_2O_2$ 'de 1. derece kinetik modeli .....	54
Şekil 6.12. Klasik Fentonda 300 mg/L $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L $H_2O_2$ 'de 2. derece kinetik modeli .....	54
Şekil 6.13. Klasik Fentonda 300 mg/L $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L $H_2O_2$ 'de BMG kinetik modeli	55
Şekil 6.14. Foto-Fenton prosesinde farklı $Fe^{+2}$ konsantrasyonlarında KOİ giderim verimi.....	56
Şekil 6.15. Foto-Fenton prosesinde KOİ giderim verimi (100mg/L $Fe^{+2}$ sbt).....	57
Şekil 6.16. Foto-Fenton prosesinde KOİ giderim verimi (125 mg/L $Fe^{+2}$ sbt).....	58
Şekil 6.17. 100 mg/L $Fe^{+2}$ ve 125 mg/L $Fe^{+2}$ dozlaması için karşılaştırmalı KOİ giderim verimi grafiği .....	58

Şekil 6.18. Foto-Fenton prosesinde farklı H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonlarında KOİ giderim verimi (Fe <sup>+2</sup> 300 mg/L sbt).....	59
Şekil 6.19. Foto-Fenton prosesinde zamana bağlı KOİ giderim verimi .....	60
Şekil 6.20. Foto-Fentonda 300 mg/L Fe <sup>+2</sup> /1000 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 'de 0. derece kinetik modeli .....	61
Şekil 6.21. Foto Fentonda 300 mg/L Fe <sup>+2</sup> /1000 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 'de 1. derece kinetik modeli .....	61
Şekil 6.22. Foto-Fentonda 300 mg/L Fe <sup>+2</sup> /1000 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 'de 2. derece kinetik modeli .....	62
Şekil 6.23. Foto-Fentonda 300 mg/L Fe <sup>+2</sup> /1000 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 'de BMG kinetik modeli...	62
Şekil 6.24. Foto-Fenton prosesinde zamana bağlı KOİ giderim verimi .....	63
Şekil 6.25. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe <sup>+2</sup> /400 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 'de 0. derece kinetik modeli .....	64
Şekil 6.26. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe <sup>+2</sup> /400 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 'de 1. derece kinetik modeli	64
Şekil 6.27. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe <sup>+2</sup> /400 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 'de 2. derece kinetik modeli	65
Şekil 6.28. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe <sup>+2</sup> /400 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 'de BMG kinetik modeli.....	65
Şekil 6.29. Foto-Fentonda 300 mg/L Fe <sup>+2</sup> / 1000 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ışık yoğunluğuna karşı KOİ giderim verimi .....	67
Şekil 6.30. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe <sup>+2</sup> / 400 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ışık yoğunluğuna karşı KOİ giderim verimi .....	68

## RESİMLER LİSTESİ

Resim 5.1. Sivas Belediyesi Katı Atık Düzenli Depolama Tesisi .....	36
Resim 5.2. Sızıntı suyu havuzu .....	37
Resim 5.3. Osram 8 adet UV-C (254 Nm) tipi ultraviyole lamba .....	38
Resim 5.4. Foto-Fenton reaktörü (UV kabin) .....	38
Resim 6.1. KOİ deneyi .....	47





## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Gelişen dünya şartlarıyla beraber insanlığın ve doğanın gereksinimleri artmaktadır. Nüfusun artması, teknolojinin gelişmesi, sanayileşme ve kentleşmesinde beraberinde getirdiği birçok nedenle beraber buna bağlı olarak üretim ve tüketimde artmaktadır. Artan üretimin kullanılarak tüketim haline gelmesiyle beraber ortaya çıkan ürünler atıkları oluşturmaktadır. Atıkların bilinçsiz olarak doğaya bırakılması büyük ölçüde insan ve çevre sağlığını tehdit eder hale gelmiştir.

Alıcı ortamlara bırakılan atıkların doğa ve kaynaklar üzerindeki olumsuz etkisi ve tüketim kültüründeki değişimler ülkeleri çeşitli formüller oluşturmaya yöneltmiştir. Çevre ve insan sağlığı için sorun oluşturan katı atıklar; atık döngüsü içinde, üretildikleri andan, son uzaklaştırma aşamasına kadar çevre ve insanla doğrudan ya da dolaylı olarak etkileşim içerisindedir. Atıkların uzaklaştırma aşamasının son durağı olan katı atık düzenli depolama sahalarından, yağışların deponi sahasında atıkla temas etmesi ve atıktaki kirlilikleri bünyesine alarak sızmasıyla oluşan sızıntı suları da alıcı ortam açısından oldukça yüksek bir risk teşkil etmektedir.

Biyolojik arıtım yöntemleri deponi yaşı genç olan sahalar için iyi arıtım sağlarken, yaşlanmış deponi sahaları için yetersiz kalmaktadır. Bu durumda deşarj standartları gereği sorun teşkil edeceğinden deşarj standartlarını sağlamak için orta ve yaşlı deponi sahası sızıntı sularında fiziksel/kimyasal arıtım yöntemlerinden yararlanılmaya çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalarda görülüyor ki, bu yöntemler arasında bulunan İleri Oksidasyon Prosesleri ile sızıntı suyu arıtımında oldukça iyi sonuçlar alınmıştır.

Bu çalışmada Sivas Kenti Düzenli Çöp Deponi Sahası'ndan alınan sızıntı suyunun Foto-Fenton Oksidasyonu ile arıtılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada Klasik-Fenton Oksidasyonu ile arıtımına kıyasla, foto-Fenton prosesi ile uzaklaştırılmasında maksimum verimliliğe ulaşmak hedeflenmiştir. Foto-Fenton Oksidasyonunda sızıntı suyuna; farklı pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Fe<sup>+2</sup> miktarları uygulanarak optimum koşullar belirlenmiştir. Buna bağlı olarak 60 dk boyunca yapılan arıtım deneyleri ile etkin temas süresi araştırılmıştır. Belirlenen optimum koşullar baz alınarak; hem klasik Fenton hem de foto Fenton için en iyi verim seçenekleri tartışılmıştır. Ayrıca farklı UV ışık yoğunluğu

(2-4-6 ve 8 lamba) altında foto-Fenton oksidasyonuna maruz bırakılan sızıntı suyunun minimum kimyasal dozlar kullanılarak arıtılabilirliği incelenmiştir. Böylece Fenton ve foto-Fenton prosesinin yüksek KOİ içerikli sızıntı suyu karakteristikleri üzerinde arıtma performansı tespit edilmeye çalışılmış ve etkin sürede uygun kimyasal dozlama ve minimum enerji sarfiyatıyla optimizasyon bulguları ortaya konulmuştur.



## BÖLÜM 2

### KATI ATIK KAVRAMI

#### 2.1. Atık Kavramı

Hepimizin bildiği gibi, insanlar ihtiyaçlarını karşılamak ve hayatlarını sürdürebilmek için belirli kaynakları elde etmek ve kullanmak zorundadırlar. Bu tüketim sonucunda tüketilen kaynakların birey için yararsız olan kısmı atık olarak kabul edilir. Aynı zamanda atık sadece kullanılmış ürünler anlamına gelmez. Son kullanma tarihi geçmiş veya kullanım amacını ve kalitesini kaybetmiş ürünlere atık denilebilir. Öte yandan, maddenin kullanımını kaybetmesi ve kullanıcı için ekonomik bir değeri olmaması, onun atık olarak değerlendirilmesi için yeterlidir [1].

"Atık Yönetimi Yönetmeliği" [2]'ne göre atık tanımı; "çevreye atılan, salınan, üretici veya fiilen kendisinde bulunduran, gerçek ya da tüzel kişi ile işlenmesi gereken her türlü madde veya malzeme" anlamına gelmektedir.

Katı atıkların bir sistemle yönetilebilmesi için ilk önce mevcut durumun ve atık karakterizasyonlarının irdelenmesi gerekir.

Atıklar şu şekilde sınıflandırmıştır;

- Evsel atık,
- Endüstriyel atık,
- Elektronik atık,
- Tehlikeli atık,
- İnşaat atığı,
- Tıbbi atık,
- Tarımsal atık,
- Evrensel atık [3].

Ülkemizde ise Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın Atık Yönetimi Yönetmeliğine [4], göre atıklar 20 başlıkta sınıflandırılmıştır. Bu gruplar ise özet başlıklar halinde aşağıda yer aldığı şekildedir;

- Maden üretim işlemleri sırasında ortaya çıkan atıklar,

- Tarım, ormancılık, avcılık ve gıda üretimi ve işlemleri sonucu ortaya çıkan atıklar,
- Ahşap, kâğıt, karton ve mobilya üretiminden kaynaklanan atıklar,
- Tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıklar,
- Petrol, doğal gaz ve kömürün işlenmesinden kaynaklanan atıklar,
- Organik olmayan kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar,
- Organik kimyasal işlemlerden kaynaklanan atıklar,
- Astarlar, boyalar, vernikler, yapışkanlar, yalıtıcıların imalat ve kullanımından kaynaklanan atıklar,
- Fotoğraf endüstrisinden kaynaklanan atıklar,
- Isıl işlemlerden kaynaklanan atıklar,
- Malzeme yüzeylerinin kaplanması işlemlerinden kaynaklanan atıklar,
- Metallerin ve plastiklerin yüzeysel işlemlerinin ve biçimlendirilmesinden kaynaklanan atıklar,
- Yağlardan kaynaklanan ve sıvı yakıtlardan kaynaklanan atıklar,
- Karbon içeren çözücüler (organik çözücüler) itici ve soğutucu gazlardan kaynaklı atıklar,
- Atıkların ambalajları; silmek için bezlerden, filtrelerin kullanım sobrası malzemelerinden ve koruyucu giysilerin kullanımından kaynaklı atıklar,
- Listede belirtilmemiş atıklar,
- Yapı işleri ve bunlardan oluşan moloz atıklar,
- İnsanların ve hayvanların sağlığı ve/veya bu konulardaki çalışmalardan kaynaklanmış atıklar,
- Atık yönetim tesislerinden, tesis dışı atık su arıtma tesislerinden ve su hazırlama tesislerinden kaynaklanan atıklar,
- Belediyelerden kaynaklı atıklar (evsel atıklar ve benzer ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklar).

Oluşan atıklar, ait oldukları yukarıda belirtilen bölümlere göre sınıflandırılır ve ilgili atık spesifik süreçler, formüle edilen ikincil mevzuat hükümlerine göre atık yönetim planına dahil edilir. Bu sayede atık oluşumunu, yeniden kullanımı ve atık geri dönüşümünü azaltarak doğal kaynakların kullanımını azaltmak ve atık yönetimini sağlamak amaçlanmaktadır.

## 2.2. Katı Atık Kavramı

Beşeri ve ekonomik faaliyetler nedeniyle gereksiz atıklar oluşmaktadır. Bu atıklar genellikle katıdır ve atık terimi, malzemenin işe yaramaz ve kullanılamaz olduğu anlamına gelir. Ancak bu atık malzemelerin çoğu yeniden değerlendirilebilir ve yeterli biçimde yönetilebilirse endüstride üretimin ve enerjide üretiminin kaynağı olabilirler. Atıkların idaresi çağımızın mühim konuları içerisinde girdi. Tüketmeye endeksli yaşantılar nedeniyle çok fazla atık üretilmektedir. Birçok kişi çevre ve halk sağlığını korunmayı savunsa da yaşantılarından vazgeçmemiştir [5].

Atık, üretimden tüketime kadar tüm faaliyetlerin bir yan ürünüdür ve diğer ürünlerde fiziksel olarak bulunan maddeleri içerir. Ancak atıkların diğer ürünlerden farkı değerinin düşük olması veya hiç olmamasıdır. Atığı oluşturan malzemeler ayrıştırılıp geri dönüştürülebildiğinde atığın değeri artacaktır. Çünkü atığın değerini azaltan, bilinmeyen bir karışım ve bileşim derecesidir [6].

Atıklar farklı açılardan ve farklı standartlarda değerlendirilip sınıflandırılabilir. Fiziki yapısına (katı atık, sıvı atık, gaz atık), özgün kullanımına (ambalajların çöpleri, yiyeceklerin atığı), malzeme veya maddelerin türlerine (camlar, kağıtlar, plastikler, metaller vb.), fiziki niteliklerine (yanıcı, parlayıcı vb.) kompost, geri kazanılabilir kaynağına göre (kentsel, ticari, kurumsal, tarımsal, tıbbi, endüstriyel vb.) sınıflandırılması [7].

Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre atık, "Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal" olarak tanımlanmaktadır [8].

Atıkla ilgili literatürde ve uluslararası kuruluşların araştırma raporlarında birçok farklı tanım bulunmaktadır. Avrupa Parlamentosu ve Konseyi, 5 Nisan 2006'da yayınlanan "Atık" konulu Direktifin (Direktif) 1. Maddesinde çok genel bir tanım yayınladı. Bu nedenle atıklar, sahibi tarafından atacağı veya elden çıkarmak istediği ve atmasının gerektiği rastgele malzemeyi veya nesneyi ifade eder [9].

### 2.3. Katı Atık Türleri

Endüstride, ürün üretimi ve işlevi çalışmaları sonucunda hayatın her alanında kullanılan ve tükettiğimiz ürün, malzeme ve malzemeler ile evlerde kullandığımız ürün ve malzemelerde kalan atıklar, katı atık sınıfını oluşturmaktadır. Genellikle katı atıklar kaynağına göre; evsel, endüstriyel, tıbbi, tehlikeli, tarımsal ve özel atıklar (radyoaktivite, piller, akümülatörler gibi) olarak sınıflandırılmaktadır [10].

Katı atıkların sınıflandırılması, atık kadar çok türü olmadığı halde belirli bir çeşitliliğe sahiptir. Katı atıklar, insan ve çevre sağlığı üzerindeki zararlı etkilerinin göz önüne alındığında, genellikle tehlikeli (tehlikeli) ve tehlikesiz (tehlikesiz) atıklar olarak iki başlıkta incelenebilmektedir. Fakat yapılan araştırmada geniş boyutlu görüş sağladığına göre kaynağına dair tasnif edilecektir. Tablo 2.1, katı atıkların kaynağına göre 6 kategoriye ayrıldığını göstermektedir. 2002 tarihindeki araştırmada tıbbi atık, ticari atıklar ve kurumların atıkları, özel dikkat gerektiren özel atıklar ise endüstriyel atık olarak yorumlanmıştır. Bu araştırmada 8 kategoriden oluşan bir sınıflandırma kullanılmış ve bu atık türleri tek bir başlık altında değerlendirilmiştir. Bu nedenle katı atıklar kaynağına (üretim yerine) göre sınıflandırıldığında aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir [10].

Tablo 2.1. Kaynaklarına göre katı atık türleri [5]

Kaynak	Atıkların Kaynaklandığı Faaliyetler ve Yeri	Meydana Gelen Katı Atıkların Tipleri
Evsel	Ev halkının yaşamını sürdürdüğü tek katlı evler; az, orta ve yüksek katlı apartman daireleri.	Yemek artıkları, kâğıt, karton, plastik, deri, bahçelerden kaynaklı atıklar, ahşap, camlar, tenekelerin, kutular, alüminyum, diğer metaller, kül, sokakların atıkları, özel atıklar, evlerden çıkan tehlikeli atıklar.
Ticaret ve Kurumsal	Dükânlar, restoranlar, marketler, iş yerleri(ofisler) oteller, moteller, servis istasyonları, araba tamir yerleri. Okullar, hastaneler, cezaevleri, kamu kurumlar,	Kâğıt, karton, plastik, ahşap, yemek artıkları, cam, metal, özel atıklar, tehlikeli atıklar vs.
Yapı ve Hafriyat	Yeni yapı şantiyeleri, yolların yapım ve tamir alanları, binaların yıkım harfiyatları, yıkılmış kaldırım taşları	Ahşap, çelik, beton, toz ve toprak.
Belediye Hizmetleri	Caddelerin temizliği, çevrenin düzenlenme, parkların, plajların temizliği, dinlenmek için alanlar,	Sokakların çöpleri, çevrenin düzenlenmesi ve kesilmiş ağaçların yaprak ve dallarından, parklardan kaynaklı atıklar.
Endüstriyel	İmalat ve yapım, hafif ve ağır üretim, rafineriler, kimyasal tesisler, güç tesisleri, yıkım vs.	Endüstriyel proses atık sularındaki döküntü ve kırıntı maddeler, endüstriyel olamayan yiyecek, çöp, kül, yıkım ve inşaat atıkları, özel atıklar ve zararlı atıklar.
Tarımsal	Araziye (tarlaya) ekilen ekinler, meyve bahçeleri, üzüm bağları, çiftlikler vs.	Bozulmuş yiyecek atıkları, zararlı atıklar.

### 2.3.1. Evsel atıklar

Tarım ve sanayi ürünlerinin kullanımından kaynaklanan atıklardır. Bu atıklar belediye hizmetleri tarafından toplanıp taşınabilir, ayrıştırılabilir, geri dönüştürülebilir, kompostlanabilir veya evlerde, toplama merkezlerinde veya evsel atık depolama alanlarında yakılabilir. İşyeri çöpü, mutfak çöpü ve evsel ambalaj çöpü bu kapsamdadır. Evsel kaynaklı katı atık, insanların yaşamlarını sürdürdüğü evlerde ve meskenlerde oluşabilecek atıkları ifade eder [11].

Esas olarak ev çöpleridir, ancak yapıları veya bileşimleri nedeniyle [12] dükkanlardan, otellerden veya piknik alanlarından toplanan çöpler de ev çöpü olarak kabul edilir. Mevzuatta da benzer bir çerçeve bulunmaktadır. Evsel katı atık, "konut, sanayi, iş yeri,

piknik alanları vb. ortamlarda oluşan tehlikeli ve tehlikeli atık kapsamına girmeyen atıklarda katı atık olarak tanımlanmaktadır [13].

Yemek artıkları evsel çöplerde önemli bir yer tutar, organik maddelerdir ve kolay parçalanırlar. Bu nedenle kısa sürede bozulurlar ve koku oluşturlar. Hatta genellikle kışları evsel çöplerde kül ve cüruf gibi inert maddeler daha fazladır. Evlerden kaynaklı atıkların içeriğinin çeşitliliği, atık toplama sisteminin planlanmasını ve uygulanmasını büyük ölçüde etkiler.

### **2.3.2. Ticarî ve kurumsal atıklar**

Bunlar ticaret işletmelerinin, farklı yapı ve kuruluşlarının işlevleri sonrasında açığa çıkmış atıklardır. Genellikle evlerden çıkan atıklar gibi doğal maddeler bulundurmazlar. Okullar, askeriye birimleri, kamusal yapıları, şirketler, pazar alanları, limanlar, istasyonlar, havaalanları, spor salonları ve diğer halka açık yerlerden elde edilen evsel çöpler bu aralıkta bertaraf edilebilir [14,12].

### **2.3.3. Belediye işlevleriyle ilgili atıklar**

Park ve bahçelerden kalan artıklar, pazar, piknik alanı, plaj gibi kamuya açık alanlarda açığa çıkan atıklar ile sokak veya sokakların süpürülmesi ve temizliği, çevrenin düzenlenmesi ile belediyenin hizmetlerinden kaynaklanan atıklar bu kategoriye girmektedir [15].

### **2.3.4. Tarımsal atıklar**

Tarımsal (sebze ve hayvan) üretim faaliyetlerinden kaynaklanan kalıntılardır. Bitki ve hayvan yetiştiriciliğinden kaynaklanan tüm artıklar, hasat artıkları ve gübreye dönüşen atıklar bu gruba dahildir. Üretilen (üretilen) tarımsal atık miktarı çok fazladır, ancak atıkların neredeyse tamamı yerinde geri dönüştürülmektedir [12].

### **2.3.5. Tıbbi atıklar**

Sağlık kuruluşlarının faaliyetlerinden kaynaklanan tıbbi atıklar, yönetmelikte belirtildiği gibi “bulaşıcı atık (bulaşıcı patojenleri taşıdığı bilinen veya taşınması muhtemel atıklar), patolojik atıklar (ameliyat, otopsi, anatomi veya patolojik araştırmalar sonucu oluşan



dokular) ve kesici atık (tahrişe, delinmeye, aşınmaya ve yaralanmaya neden olabilir)" dan oluşmaktadır [16]. Daha genel bir ifadeyle sağlık ünitelerindeki işlemlerin kullanımı sırasında ortaya çıkan patolojik, enfeksiyöz, kesici-delici, ameliyat malzemeleri gibi kullanım sonrası ortaya çıkan atıkların genel adıdır.

### **2.3.6. İnşaat ve hafriyat atıkları**

Bina ve diğer yapıların yapım, dönüşüm ve yeniden yapılanma aşamalarında oluşan kalıntılar ve molozlar bu kategoriye girmektedir. Hafriyat projelerinden elde edilen yapı malzemeleri ve topraktan oluşur. Her sektör tipinde inşaat ve hafriyat atıkları oluşabilmektedir [12].

### **2.3.7. Özel atıklar**

Özel yöntemlerle arıtılan ve dikkat edilmesi gereken atıklardır. Radyoaktif atıklar, toplum ve çevre sağlığına zararlı endüstriyel atıklar, evsel çöplerdeki kimyasallar (boyalar, temizlik ürünleri vb.), piller, ampuller, elektronik atıklar, otomobil parçaları, lastikler, atıklar ve çamurdan kaynaklanan atıklar atıksu tesislerinin hepsi buna örnektir [14].

### **2.3.8. Endüstriyel atıklar**

Bunlar endüstriyel çalışma esnasında ve/veya nedeniyle oluşan atıktır. Burdaki çalışmalarda kullanılan materyallerden (metaller, plastikler, cüruf, motor yağı, cevherler gibi) arta kalan ve dağınık formda kullanılamaz hale gelen ve arıtılmadan kullanılamaz veya tamamen kullanılamaz hale gelen artık maddelerdir. Sanayi sektöründe ürün çeşidine göre farklı atıklar oluşabilmektedir. Örneğin gıda endüstrisindeki fabrikalar organik atık üretirken, pil üreten fabrikalar kimyasal atık ve hatta tehlikeli atık üretmektedir [12].

## **2.4. Katı Atık Yönetimi**

Çevre kirliliğinin başlıca nedenleri hızlı nüfus artışı ve kentleşme, endüstriyel ve teknolojik gelişme, sanayi, tarım ve turizm başta olmak üzere beşeri ve ekonomik faaliyetlerdir. Bu nedenler, katı atık miktarındaki ve türündeki önemli artışı açıklayabilir. Yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesi, üretimde maliyetleri düşürmek

için farklı hammaddelerin kullanılması, piyasaya sunulan ürün çeşitlerinin tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve talebin artması, atık problemlerinin ağırlaşmasına neden olmuştur.

Atık miktarındaki sürekli artış ve içeriğindeki değişim, 20. yüzyılın sonunda birbiriyle bağlantılı iki önemli sonuca yol açmıştır. Birincisi, atıkların çevreye verdiği zarar giderek artmakta, ancak doğal kaynakların hızla tüketilmesine, hammadde ve enerji kaybına neden olmuştur. Bu durumda çöp, kentsel temizlik hizmetlerini yürüten yerel yönetim birimlerinin karşılaştığı giderek daha ciddi bir sorun haline gelmiştir. Katı atık araştırmaları, bu hizmetler için büyük bütçelere, büyük harcamalara ve yatırımlara rağmen, atıkların uygun şekilde bertaraf edilmesinin hala mümkün olmadığını göstermektedir. İkincisi, daha önce insan ve çevre sağlığı açısından arıtılan ve çöp olarak kabul edilen ve insanların yaşam alanlarından uzaklaştırılan atıklar, amacı ve anlayışı onları günümüz ekonomisine geri kazandırmak olan bir sanayi sektörü haline gelmiştir. Hizmet yapısının halk sağlığı veya çevreden ürünlere aktarılmasına ilişkin bu yeni anlayış, atık hizmetlerini "temizleme, toplama, taşıma, ayırma, geri dönüşüm ve kompostlaştırma/depolama/yakma" aşamalarından oluşan bir zincir olarak tanımlamaktadır. Bu aşamalar iç içedir [17].

Katı atık yönetimi, katı atıkların kontrolü, depolanması, biriktirilmesi, toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertarafı ile ilgili disiplin olarak tanımlanmaktadır. Katı atık yönetimi, tüm bu süreçlerin toplum sağlığı, ekonomi, mühendislik, çevre koruma, estetik ve diğer çevre konularının temel ilkelerine uygun olarak, toplumsal duyarlılığa duyarlı olarak yönetilmesini ifade etmektedir.

Atık yönetimi ve bertarafı ile ilgili çevresel konular iki önemli alana ayrılabilir: kaynak koruma ve çevre kirliliği. Kaynak koruma, kaynakların bir gün tamamen tükeneceği bilgisine dayanan, insanların yaşam kalitesinden ödün vermeden doğal kaynakların mümkün olduğunca korunmasını ifade eden eski bir uygulamadır. Ancak bu, kaynakların asla kabul edilemez seviyelere düşmeyeceği anlamına gelmez. Hatta çoğu durumda bunun gerçekleşmesinin uzun zaman aldığı, bunun da teknolojik gelişmeye ve kalkınma politikalarının uygulanmasına zaman tanıyacağı söylenmektedir. Petrol, demir, bakır gibi dünyanın yenilenemeyen kaynaklarının tükenmesinden duyulan aşırı endişe nedeniyle yeni rezervler keşfedilmiştir ve bu kaynaklarla ilgili acil bir sorun

bulunmamaktadır. Çevre kirliliğini ve yenilenebilir kaynakların yok edilmesini vurgulayan yeni anlayışa göre iki nokta önemlidir: Birincisi, çevre kirliliği ve atık üretimi, dünyanın doğal atıkları absorbe etme ve zararsız bileşiklere dönüştürme kabiliyetini aşmaktadır. İkincisi, su, toprak, ormanlar, balıklar ve biyolojik çeşitlilik gibi yenilenebilir kaynakların giderek artan tahribatıdır [18,6].

Tarihsel olarak, atık yönetimi yöntemlerinin gelişimi, sağlık ve güvenlik olmak üzere iki temel kritere dayanmaktadır. Bu iki temel rehber, halk sağlığı risklerinin en aza indirilmesi ve etkinliğinin korunması ilkesine uygun olarak atık yönetimi ve bertaraf işlemleri olarak özetlenebilir. Ancak modern toplumda bu standartların yanı sıra sürdürülebilirlik ilkesi de öne çıkmaktadır. Hepimizin bildiği gibi, sürdürülebilirlik veya sürdürülebilir kalkınma, "sadece çağdaş insanların ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayan, aynı zamanda gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama kabiliyetinden ödün vermeyen kalkınma" olarak tanımlanmaktadır. Bu anlayış, ekonomik kalkınma, çevre koruma ve sosyal eşitliğe uyum arasındaki karşılıklı destekleyici ve etkin uyumu ifade eder. Bu durumda, sürdürülebilir atık yönetimi, sosyal olarak kabul edilebilir, ekonomik olarak uygulanabilir ve çevresel açıdan etkin bir yönetim yöntemine tekabül etmektedir [16].

#### **2.4.1. Sürdürülebilir kalkınma ve sürdürülebilir katı atık yönetimi**

Doğal kaynakları israf etmek yerine çevre kirliliğini en aza indirmeyi amaçlayan modern katı atık yönetim yöntemlerinin temel ilkelerinden biri sürdürülebilirliktir. Sürdürülebilirlik, katı atık yönetiminin çevre koruma ve ekonomik kalkınma arasındaki konumunu güçlendirir. Atıkların ekonomik değeri olduğunu ve doğaya bırakılmaması gerektiğini kabul ederek, çevre kirliliğini geliştirmeye ve azaltmaya yardımcı olan yöntemleri desteklemektedir [12].

#### **2.4.2. Sürdürülebilir kalkınma**

Sürdürülebilir kalkınma kavramı ekonomi, çevre ve toplum arasındaki dengenin yeni bir ifadesi olarak kullanılmaya başlandı ve bu denge 1970'lerde ortaya çıktı. Bu kavram ilk olarak Türk literatüründe "sürdürülebilir ve dengeli kalkınma" olarak adlandırılrsa da daha sonra "sürdürülebilir kalkınma" veya "sürdürülebilir kalkınma" terimleri daha yaygın hale geldi [17].

Sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez Uluslararası Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği (IUCN) tarafından 1980 yılında hazırlanan “Dünya Koruma Stratejisi” başlıklı raporunda kullanılmıştır. Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun (WCED-World Commission on Environment and Development) 1987 yılında “Ortak Geleceğimiz” (Brentland Raporu) başlıklı bir rapor hazırlamasından sonra bu kavram dünya çapında kullanılmaya başlanmıştır [14].

Brundtland raporuna göre, sürdürülebilirlik veya sürdürülebilir kalkınma kavramı, "gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden yalnızca çağdaş insanların ihtiyaçlarını karşılamakla kalmayan gelişme veya süreç" anlamına gelir. Sürdürülebilir kalkınma, ekonomik, sosyal ve çevresel politika ve hedefler arasında bir dengenin kurulmasını ve işletilmesini sağlar. Aynı zamanda kaynakları mevcut ihtiyaç ve ihtiyaçlar için kullanırken gelecek nesillerin haklarını, taleplerini ve ihtiyaçlarını korur [19].

Sürdürülebilir kalkınma kavramı, çevresindeki dünya ile kişiler arası ilişkiyi anlamının bir yolu ve aynı zamanda değişen dünya görüşüne cevap vermeyi amaçlayan bir politikadır. Sürdürülebilir kalkınma, kaynak korumanın entegrasyonu ve geliştirme yöntemlerinin sürekliliği ile ilgilidir. Bu, ekonomik sektöre uluslararası ve hatta nesiller arası faydalar sağlayan bir gelişmedir. Başka bir deyişle, insan faaliyetlerinin toplum, çevre ve ekonomi üzerindeki potansiyel etkilerini her zaman dikkate almanın gerekli olduğu fikrine dayanırken, bunların dünyanın geri kalanı ve onun üzerinde bir etkisi olabileceğini unutmamak gerekir [20].

Sürdürülebilir kalkınma kavramı toplum, ekonomi ve çevre kavramlarına dayanmaktadır. İnsanlar, habitatlar ve ekonomik sistemler birbirine bağlıdır. Bu etkileşimleri görmezden gelmek, insanların doğal kaynakları yok ederek zamanla ödeyeceği bedel olacaktır. Aslında insan yaşamı tüm beşeri, sosyal ve ekonomik faaliyetlerde (ticaret, turizm, beslenme gibi) ekosistemlere ve ekosistem hizmetlerine (doğal kaynaklara) bağlıdır [20].

Sürdürülebilir kalkınma anlayışı sanayi, tarım, turizm, kentleşme, kentleşme, çevre gibi ekonomik faaliyetlerde ve kaynakların gelecek nesiller için korunmasında anahtar kavramlardan biridir. Tüm bu beşeri, sosyal ve ekonomik faaliyetler, nüfus artışı ve

kentleşme gibi sosyal değişimler katı atıkların oluşmasına ve çeşitlenmesine neden olmuştur. Bu nedenle çevre kirliliğine neden olan atıklarla mücadeleyi hedefleyen modern katı atık yönetimi, sürdürülebilir kalkınma anlayışından sapmamalıdır.

### **2.4.3. Sürdürülebilir katı atık yönetimi**

Sosyal, ekonomik, teknolojik, ekolojik, yasal, finansal, politik ve hatta kültürel unsurları içeren sürdürülebilir kalkınmanın önemli konularından biri katı atık yönetimidir. Sürdürülebilir katı atık yönetimi, kentsel gelişim ile uyumlu bir atık yönetim sistemi biçimini ifade eder. Doğru atık toplama, arıtma, koruma ve kaynak yoluyla çevreyi sağlarken, kaynakların kullanımında insanın günlük tüketim ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlar.

Bununla birlikte, insan faaliyetleri ve çevre arasındaki etkileşim karmaşıktır ve ölçülmesi genellikle zordur. Çoğu durumda, çevre koruma, sosyal refah, ekonomik büyüme ve teknolojik ilerleme arasındaki optimal dengeyi tahmin etmek için zor ve karmaşık bir yönetim süreci gereklidir. Sistematik bir yaklaşımın kullanılması, bu zor ve karmaşık süreçlerin kapsamlı bir şekilde ele alınmasına yardımcı olur ve sürdürülebilir bir katı atık yönetim sisteminin oluşturulmasına ve uygulanmasına yardımcı olur [21].

Şimdi bile tüm emtia ve ürünler hammadde ve enerji içeriyor. Atılırlarsa, değerli doğal kaynaklar etkin bir şekilde yok edilecektir. Atık arıtma ayrıca yerel hava kirliliğini ve sera gazı emisyonlarını (GHG) olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, değerli doğal kaynakları korumak, gereksiz sera gazı emisyonlarını önlemek ve halk sağlığını ve doğal ekosistemleri korumak için sürdürülebilir atık yönetimi esastır [22].

### **2.4.4. Entegre katı atık yönetimi**

Entegre katı atık yönetimi, katı atıkların halk ve çevre sağlığı üzerindeki etkisini en aza indirmek ve bu süreci etkin, ekonomik ve güvenli bir şekilde yönetmek için çeşitli katı atık yönetimi yöntem ve uygulamalarının birleşimidir. Entegre katı atık yönetimi, ulusal hedeflere ulaşmak için atık işleme yöntemlerinin (atık azaltma, geri dönüşüm, yakma ve depolama gibi) kullanımına atıfta bulunan ABD atık yönetimi literatüründe sıklıkla kullanılan bir kavramdır. Atık yönetimi politikası; bu alandaki gelişmeler, katı atık

yönetiminde tek bir yönetime odaklanmayı imkansız kılmaktadır. Entegre katı atık yönetimi, bu yöntemlerin bir kombinasyonudur ve en uygun seçenek olarak kabul edilir.

ABD Çevre Koruma Ajansı (US EPA), katı atık yönetiminin en iyi kombinasyonunun entegre katı atık yönetimi olduğuna inanmaktadır. Uzun vadede başarılı bir katı atık yönetimi, gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasına büyük katkı ve fayda sağlayacaktır. Ancak bu alandaki başarı, ileri teknolojinin yanı sıra halkın büyük ilgi ve benimsemesine bağlıdır. ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından öngörülen entegre atık yönetim sistemi aşağıdaki dört bileşeni içerir [11];

- Kaynağında azaltma (Source reduction), ürünlerin tekrar kullanımı dâhilatıkların en aza indirilmesi
- Malzemelerin geri dönüşümü (Recycling of materials), kompostlama dâhil
- Atık yakma (Wastecombustion), enerji geri kazanımı amacıyla atıkların yakılması
- Düzenli Depolama (Landfilling)

Entegre katı atık yönetimi seviyesi, toplumu insan ihtiyaçlarını karşılamaya yönlendiren bu uygulamaları içerir. Kapsamlı bir katı atık yönetim planının temel unsurlarını tanımlamak için atık seviyeleri oluşturmak yaygındır. Sanayileşmiş ülkeler tarafından kabul edilen genel atık seviyesi ayrıca aşağıdaki beş bileşen dizisini içerir [16];

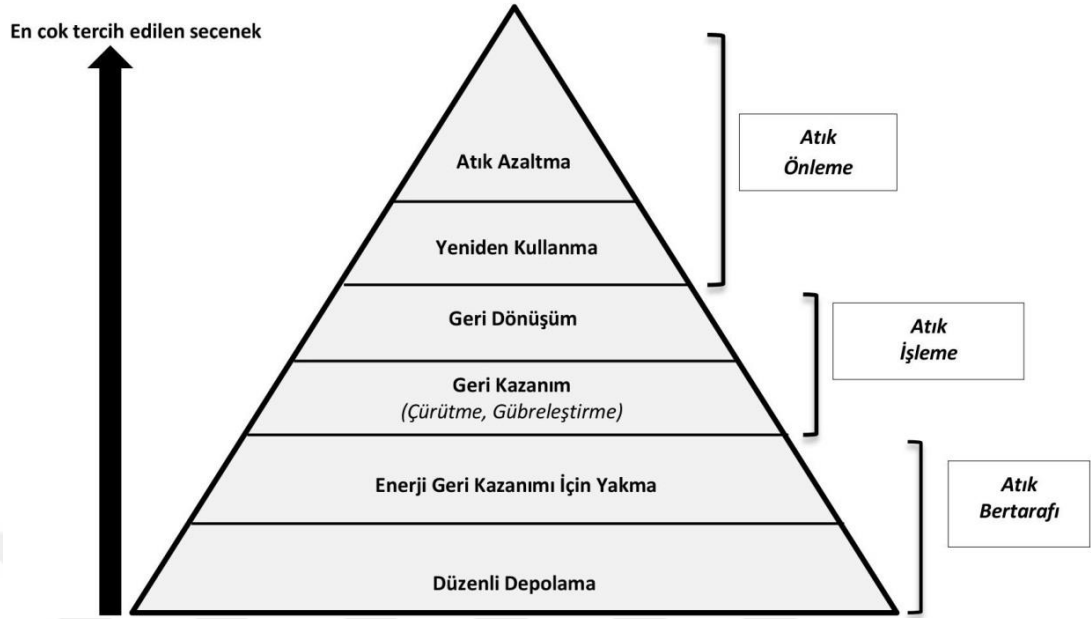
- Atıkların azaltması (reduce)
- Yeniden kullanılması (reuse)
- Geri dönüşümü (recycle)
- Geri kazanımı (recover)- Fiziksel, biyolojik veya kimyasal işlemlerle atığın dönüştürülerek farklı bir kazanım sağlanması (örneğin kompostlama, yakma)
- Düzenli depolama (landfilling)

Katı atık yönetimi yöntemleri geleneksel yöntemler kullanılarak geliştirilmektedir. Geçmişten günümüze katı atıkların uzaklaştırılmasında kullanılan yöntemlere genellikle katı atık arıtma yöntemleri denilmektedir. Bunlar dört ana başlığa ayrılabilir: depolama, kompostlama, yakma ve geri dönüşüm. Ancak günümüzde çok modern ve bilimsel katı atık yönetim yöntemleri kullanılmış ya da bilinen yöntemler geliştirilerek sistematize edilmiştir. Aslında bu yöntemlerin belirli bir öncelik sırasına göre kullanımına ilişkin

bir katı atık yönetimi hiyerarşisi oluşturulmuştur (Şekil 2.1 ve önceki bölümde gösterildiği gibi) [9].

Burada anlatılması gereken, modern katı atık yönetimde birbirini destekleyen ve kapsamlı yöntemlerin kullanılmasının entegre katı atık yönetimi kavramına tekabül ettiği ve daha etkin yöntemlere odaklanması gerektiğidir. Çevre, yönetim ve finans açısından sürdürülebilir olduğu için daha çok tercih edilmelidir. Şeklinde açıklanan, kullanılan katı atık arıtma yöntemleri veya öngörülen hiyerarşinin bileşenleri arasında büyük farklılıklar yoktur. Örneğin, belirli hiyerarşiler oluşturulurken, yeniden kullanım israfı azaltmak için bir seçenek olarak görüldüğü için bileşen sayısı 5 veya 4 olabilir. Katı atık yönetimi ile ilgili olduğu için doğal olarak bu yöntemler veya bileşenler benzerdir. Bununla birlikte, bir yöntemi tamamen terk etme hedefi de vurgulanabilir, örneğin, sıfır atık yönteminde depolama seçenekleri öngörülmemiştir [11].

Bu alanda çalışan profesyonellerin deneyimleri ve ufuklarını genişleten akademik araştırmalar sayesinde, günümüzün katı atık yönetimi anlayışı kapsamlı ve sürdürülebilir bir rota haline gelmiştir. Birçok yazar, kapsamlı ve sürdürülebilir katı atık yönetimi için atık sınıfları oluşturmuştur. Bu yazarlar tarafından tasarlanan çizelgeler, bazı çizelgelerde bu hiyerarşik yapıyı sezgisel olarak daha iyi ifade etmek içindir. Bu çalışmada bu çalışmalar değerlendirilmiş ve literatürde yer alan katı atık dereceleri araştırma bakış açısına göre sıralanarak kamu yönetimi açısından değerlendirilmesi ve yönetim sürecindeki kilit noktaların vurgulanması amaçlanmıştır. Bu katı atık hiyerarşisi, yönetim ve süreç organizasyonu açısından altı seçeneği üç ana gruba ayırır: atık önleme (atık azaltma, yeniden kullanım) atık işleme (geri dönüşüm, geri dönüşüm) atık işleme yöntemleri (yakma, depolama) (Şekil 2.1) [21]:



Şekil 2.1. Katı atık hiyerarşisi

## 2.5. Katı Atıkların Toplanması ve Taşınması

Atık taşıma seçenekleri şunları içerir:

- Yük gemileri
- Tankerler veya demiryolu tankerleri
- Yük kamyonları veya demiryolu yük vagonları
- Hafif kamyonlar ve/veya damperli kamyonlar
- Uçak

Taşıma seçenekleri, atığın türüne ve miktarına göre seçilecektir. Mümkünse, yağlı ve yağsız atıkların taşınması için ayrı gemiler ve kamyonlar kullanılacaktır [23].

## 2.6. Türkiye'de Katı Atık Toplama

Türkiye'de 3225 belediye bulunmaktadır ve bunların 16'sı büyükşehir belediyesidir. Toplam 3028 belediye katı atık yönetimi hizmetine sahiptir. Türkiye'nin yerleşme birimlerinin çoğu, toplama ve taşıma bileşenleri MSW yönetimi genellikle de düzenlenmektedir. Belediyeler tüm emeklerini ve bütçelerini bu hizmetler için harcamaktadırlar. Türkiye'nin belediye alanlarında iki tür toplama sistemi vardır.

Şehirlerin ve büyük kasabaların orta kesimlerinde çalıştırılan ilk toplama sistemi kaldırım kenarı toplama sistemidir. Bu toplama sisteminde, her binada bir katı atık toplama



aracı atıkları toplamak için durur. Bu sistemin çalıştırıldığı yerlerde atıklar günlük veya günde iki kez toplanır. Bazı konut sakinleri özel olarak üretilmiş plastik poşetler kullanır, ancak çoğu çeşitli kalınlık ve ebatlarda ambalaj poşetleri kullanır. Çoğu bölgenin sakinleri tarafından kullanılan mutfak çöp kutuları ne boyut olarak ne de üretim malzemesi olarak standart değildir [24].

Küçük yerleşim yerlerinde ve kentsel alanların zayıf gelişmiş çevre bölgelerinde yaygın olarak uygulanan ikinci toplama sistemi, topluluk çöp kutusu sistemidir. Bir bölgenin nüfusuna bağlı olarak, sokaklara standart dışı çeşitli boyut ve modellerde topluluk çöp kutuları yerleştirilmekte ve bu çöp kutuları tarafından atıklar toplanmaktadır. Traktörlerden kompaktörlere kadar çeşitli araç türleri. Çöp kutuları genellikle bazı belediyelerde haftada iki veya üç kez boşaltılır veya değiştirilir.

Nedeniyle nüfus ve hızlı kentleşme artması, bazı periferik bölgelerinde yollar toplama araçları topluluk bidonları ulaşamadığı böylece kent merkezlerine, çok kötü yağışlı dönemlerde bu alanlarda ve bu nedenle toplum depo boşaltılmış edilemez düzenli. Bu alanlardan gelen MSW genellikle yüksek konsantrasyonlarda çürüyen madde içerir, bu da onları komşu popülasyonlarda estetik ve çevresel rahatsızlıklara neden olmaya özellikle eğilimli hale getirir, özellikle de toplu çöp kutuları veya tavuk bunkerleri çöpe eklendikten sonraki 48 saat içinde boşaltılmadığında en yaygın tipteki ortak çöp bidonlarının hacmi yaklaşık 2001'dir [23].

Sağlık kuruluşlarından diğer tehlikeli atıklara kadar olan tıbbi atıklar, özel olarak tasarlanmış kamyonlar ve işçiler tarafından ayrı ayrı toplanmak yerine genellikle toplu çöp kutularına atılmaktadır. Ancak bazı belediyeler, özellikle nüfusu yüksek belediyeler olmak üzere toplama ve taşıma sistemlerini ayrı olarak uygulamaktadır. Türkiye'de az miktarda tıbbi atık yakılarak bertaraf edilmektedir. Bulaşıcı katı atıklar, MSW ile birlikte genellikle belediyelerin çöplük alanlarına deşarj edilmektedir. Belediyeler katı atık toplama ve taşıma için kendi araçlarını kullanmaktadır. Hem koleksiyon ve ulaşım hizmetleri aynı araçlarla yapılmaktadır. Türkiye'de genellikle transfer modelleri kullanılmamaktadır. Toplama ve taşıma araçları genellikle 3,5-7 ton kapasiteli kamyonlardır. Traktörler de büyük şehirlerde birçok alanda kullanılmaktadır [25].

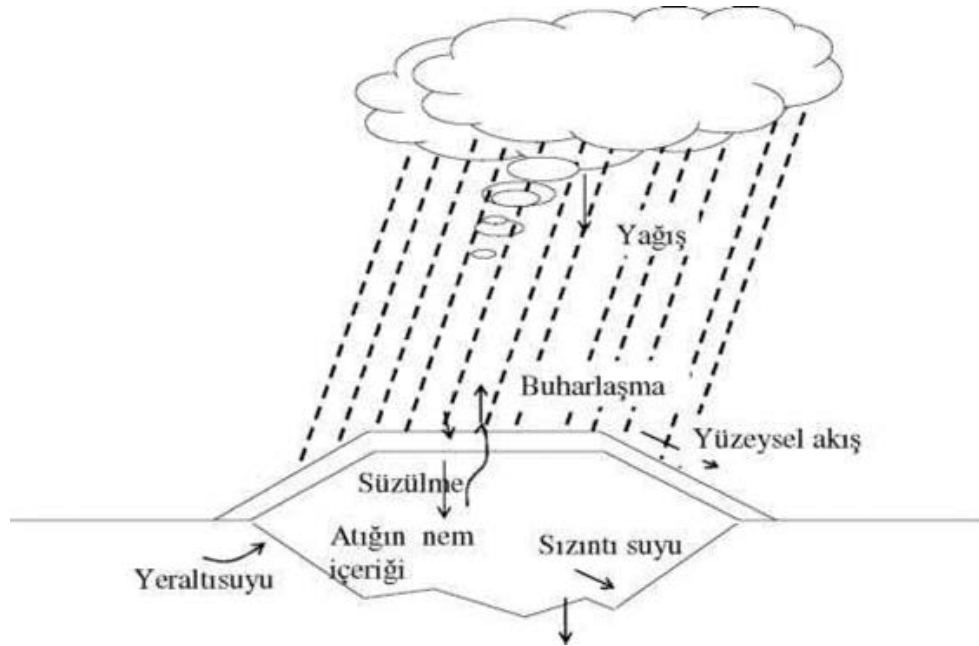
## BÖLÜM 3

### SIZINTI SUYU KAVRAMI

#### 3.1. Sızıntı Suyu Oluşumu ve Miktarı

Katı atıkların depolanması sırasında ve sonrasında atıktaki su, kimyasal ve biyolojik ayrışma reaksiyonları ve yağmur suyu sızıntı suyu oluşturacaktır. Depolama alanına giren veya çeşitli şekillerde depolama alanında görünen su, atığın bozunma ürünlerini ve atıktaki çözünür maddeleri emer ve depolama alanından geçerken ilerler. Herhangi bir depolama sahasında oluşabilecek sızıntı suyu, atığın su tutma kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir. Genel olarak, depolama sahasının su tutma kapasitesi aşıldığında sızıntı suyu oluşmaya başlayacaktır [26].

Depolama alanında üretilen sızıntı suyu miktarı, atığın bileşimine, depolama alanının yaşına, depolama alanının büyüklüğüne, iklim koşullarına ve nihai çatının sızma düzeyine bağlı olarak değişmektedir. Rezervuar alanında üretilen sızıntı suyu miktarı, alandaki yağmur suyunun buharlaşma miktarına ve doldurma sırasındaki sıkıştırma yöntemine bağlıdır. Rezervuar alanında sızıntı suyunun oluşumu Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Depo alanında sızıntı suyunun oluşumu

Deponi sızıntı suyu üretiminin kantitatif değerlendirmesi için bir deponi su dengesi modeli geliştirilmiştir. Araştırmalar, bu modellerin kabul edilebilir doğruluk sağladığını göstermiştir. Bu modeller katı atık depolama sahalarının tasarım aşamasında kullanılmaktadır.

### **3.2. Sızıntı Suyunun Özellikleri**

Sızıntı suları, oluşum özelliklerine bağlı olarak çok sayıda bileşen içerir ve kalitesi çok değişkendir. Sızıntı suları izlenerek, depolama sahasındaki katı atığın yaşı ve durumu hakkında bilgi edinilebilmektedir.

Depolama alanında sızıntı suyunun özellikleri zamana ve yere göre büyük farklılıklar gösterir. Sızıntı suyunun farklılık bileşimlerini; katı atığın bileşimi, miktarı, sıkıştırma derecesi, su içeriği, atığın depolama alanındaki derinliği, ayrışma aşaması, depolama alanına düşen yağış miktarı, yaşı, geri kazanılan su miktarı ve depolama alanı tasarım ve işletimi oluşturmaktadır [27].

### **3.3. Sızıntı Suyu Özelliklerini Etkileyen Faktörler**

Düzenli depolama sahasının heterojen yapısında farklı özelliklere sahip çok sayıda atık tespit edilmiştir. Atık içeriği mevsime ve ekonomik koşullara bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Depolama alanında evsel atıkların yanı sıra endüstriyel atıklar ve işlenmiş çamurlar da depolanabilmektedir. Tehlikeli atıkların evsel atıklarla birlikte depolanması yasak olmasına rağmen, evsel katı atık depolama alanlarında bu atıkların içeriği yüksektir [28].

Çeşitli pestisitler, boya ürünleri, temizlik maddeleri, çeşitli hobilerde kullanılan kimyasallar, piller ve motor yağları, evsel tehlikeli atık olarak sayılabilir. Katı atık yüzey adsorpsiyonu, biyolojik bozunma ve buharlaşmanın taşınma ve dönüşüm olaylarından ve son olarak sızıntı suyuna girerek taşınmadan etkilenirler [29].

Organik maddeler katı atıkların önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu organik malzemelerin yaklaşık üçte ikisi biyolojik olarak parçalanabilir ve üçte biri dirençli maddelerdir. Organik maddelerin atıktaki biyolojik bozunma hızı lignin içeriğine göre değişmektedir.

Biyolojik olarak parçalanabilen atıklar, biyolojik olarak parçalanabilen atık ve kısmen biyolojik olarak parçalanabilen atık olarak da ayrılabilir. Tablo 3.2, katı atıktaki organik maddelerin yavaş ve hızlı bozunmasını göstermektedir. Atıktaki biyolojik olarak parçalanabilen maddeler sızıntı suyu oluşumunu ve suyun BOİ değerini artıracaktır.

Tablo 3.1. Atıklarda hızlı ve yavaş biyodegradasyona uğrayan organik maddeler

Hızlı Biyodegrade Olan Atıklar	Yavaş Biyodegrade Olan Atıklar
Gıda atıkları	Tekstil atıkları
Gazete kağıdı	Kauçuk atıklar
Ofis kağıdı	Deri atıklar
Karton	Ağaç kökenli atıklar
Bahçe atıkları	

Düzenli depolama, dış ortamdan farklı bir ekosistem oluşturmuştur. Depolama sahalarının operasyonel özellikleri ve atıkların heterojenliği nedeniyle, sahadaki ekosistem çok çeşitlidir. Ekosistem, sıcaklık, pH, toksik maddelerin varlığı, nem içeriği ve redoks potansiyeli gibi depolama sahasının çevresel koşullarından etkilenir [30].

Depolama alanının işleyişi de sızıntı suyunun bileşimi üzerinde etkilidir. Bazen katı atıkların sıkıştırılması ve ezilmesi gibi fiziksel işlemler, depolama sahasının hacmini azaltmak için depolamadan önce gerçekleştirilir. Bu yöntemler sızıntı suyunun bileşiminde de önemlidir.

### 3.4. Sızıntı Suyu Özellikleri

Sızıntı fonksiyonu; depolama yaşı, rezervuar alanı hidrojeolojik koşulları, depolamadaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktiviteler, katı atık su içeriği, sıcaklık, pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, stabilite, katı atık depolama yüksekliği, düzenli depolama işletmesi nedeniyle katı atık bileşimi ve iklim koşulları. Bunlardan en önemlisi atık bileşenidir. Organik ve inorganik bileşenlerin biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçleri genellikle sızıntı suyunun özelliklerini belirler. Yüksek organik maddenin en önemli süreci biyolojik süreçtir. Sızıntı suyunun bileşimi için inorganik atıkların çözünürlüğü de önemlidir. Atık bileşenler ve reaksiyon ürünleri tankta süzülür ve sızıntı suyunda çözelti veya gaz olarak boşaltılır. Farklı bileşenlerin indirgenmesi, tüketilmesi ve redoks

potansiyelinin yanı sıra pH, sülfür ve iyonik güç gibi kimyasal ortamlar nedeniyle atık ve sızıntı suyunun bileşimi zamanla değişecektir [31].

Katı atık depolama sahasına geri dönüştürülen su miktarı, malzemenin çözünürlüğünü ve mikrobiyal bozunmayı etkilediği için sızıntı suyunun kalitesini değiştirecektir. Düşük hızlı filtrasyonda, anaerobik mikrobiyal aktivite, sızıntı suyundaki organik madde konsantrasyonunu azaltmada önemli bir faktördür. Bununla birlikte, yüksek akış hızlarında, çözünür organik madde ve hatta mikrobiyal hücreler, yüksek akış hızlı sızıntı suyu tarafından dışarı atılabilir. Bu durumda, mikrobiyal aktivitenin sızıntı suyundaki kirletici konsantrasyonunu azaltmada çok az etkisi vardır.

Sızıntı suyunun özellikleri depolama sahasının stabilitesine bağlıdır. Sızıntı suyu karakterizasyonunu oluşturan önemli parametreler TOC, BOİ, KOİ ve VFA'dır. Tanktaki stabilitesini belirlemek için belirli indeks parametreleri kullanılır. Bu fiziksel, kimyasal veya biyolojik parametreler, depolama sahasının tepki derecesini belirler. Örneğin pH ve ORP (oksidasyon-redüksiyon potansiyeli) parametreleri asit-baz dengesi ve redoks dengesinin belirleyici ölçümleridir. Bunlar asit oluşumunun ve metan oluşumunun derecesini belirler.

BOİ ve KOİ, biyolojik bozunabilirlik; nitrojen ve fosfor, aerobik/anaerobik durumun ve yeterli beslenmenin belirli aşamalarını gösterir. Benzer şekilde, alkalinite, tamponlama kapasitesi; ağır metal potansiyeli bastırma; elektriksel iletkenlik, iyonik güç ve aktivite; bakteri ve virüsler, sağlık tehlikelerinin derecesi; nitrat ve sülfat oksidasyon derecesini belirler. Tablo 3.3, farklı stabilizasyon (ayırışma) aşamalarında sızıntı suyunun özelliklerini göstermektedir [32].

Tablo 3.2. Sızıntı sularının çeşitli stabilizasyon fazlarındaki karakteri

Parametre (mg/L)	Biy Hidroliz Fazı	olojik Stabili Asit Fazı	zasyon Fazlar Metan Fazı	ı Humik Faz
BOİ5	100-10900	1000-57500	600-3400	4-120
KOİ	480-18000	1500-71100	580-9760	31-960
TOK	100-3000	500-27700	300-2230	70-260
UYA	100-300	3000-18800	250-4000	-
BOİ5/KOİ	0,23-0,87	0,4-0,8	0,17-0,64	0,002-0,013
KOİ/TOK	4,3-4,8	2,1-3,4	2,0-3,0	0,4-2,0
TKA	180-860	14-1970	25-82	7-490
NO3-N	0,1-5,1	0,05-19	Yok	0,5-0,6
NH3-N	120-125	2-1030	6-430	6-430
NH3-TKA	0.1-0.9	0-0,98	0,1-0,84	0,5-0,97
T. Fosfor	0.6-1.7	0,2-120	0,7-1,4	0,2-14
Alkalinite	200-2500	140-9650	760-5050	200-3520
TKM	2450-2050	4120-55300	2090-6410	1460-4640
PH	6,7	4,7-7,7	6,3-8,8	7,1-8,8
ORP.pot (mv)	(+40)-(+80)	(+80)-(-80)	(-70)-(-240)	(+97)-(+163)
Cu	0,085-0,39	0,005-2,2	0,03-0,18	0,02-0,056
Fe	68-312	90-2200	115-336	4-20
Pb	0,001-0,004	0,01-1,44	0,01-0,1	0,01-0,1
Mg	66-96	3-1140	81-505	81-190
Mn	0,6	0,6-41	0,6	0,6

Azot miktarı depo yaşını belirleyen en önemli faktördür. Amonyak azotu (NH3-N) ve organik azot (org-N) organik maddelerin biyolojik indirgenmesinden meydana gelir ve anaerobik ortamda stabil haldedir. Nitrat azotu ise anaerobik ortamda tüketilir.

### 3.5. Sızıntı Suyu Arıtımı

Sızıntı suyunun bileşimi ve kirlenmelerin konsantrasyonu büyük ölçüde depolanan atık ve depolama sahasının yaşına bağlıdır. Sızıntı suyunun arıtılması, toprak ve yeraltı suyu için risk oluşturduğu için çok önemlidir [33].

Depolama sahası yönetiminde sızıntı suyu arıtması büyük bir masraftır. Sadece deponun aktif çalışması sırasında değil, depo kapandıktan sonra da belirli bir süre boyunca işleme uzun bir süre devam edecektir.

Sızıntı suyunun arıtımında en çevre dostu ve maliyet etkin alternatifler düşünülmelidir. Zamanla sızıntı suyu için en uygun arıtma çözümü yeni teknolojiler veya düzenlemelerdeki değişikliklerle değişecektir. Ayrıca arıtma yönteminin seçildiği sızıntı

suyunun özellikleri arazinin yaşının bir fonksiyonudur ve zamanla değişmektedir. Buna bağlı olarak tedavi yöntemleri de değişecektir [34].

Sızıntı suyu arıtma yönteminin seçiminde en önemli faktör suyun doğasıdır. Depolama sahasından depolama sahasına sızıntı suyunun bileşimindeki değişim birçok nedenden dolayı farklı arıtma proseslerinin uygulanmasına yol açmıştır.

Sızıntı suyunun yönetiminde, nihai uzaklaştırma için en yaygın kullanılan yöntem, yerinde arıtmadan sonra alıcı ortama deşarj veya merkezi atıksu arıtma tesisi kanalına deşarjdır. Bazı durumlarda, her ikisi de yerinde ön arıtmadan sonra uygulanabilir ve merkezi kanalizasyon arıtma tesisine nakledilebilir. Sızma suyunun arıtılması genellikle zordur ve oldukça kirli sudur. Bu suyun biyolojik olarak parçalanabilen çeşitliliği ve direnci, bileşimi, üretkenliği ve organik maddelerin düşük fosfor içeriği nedeniyle arıtılması zordur. Sızıntı suyunun biyolojik arıtımı düşünüldüğünde, düşük fosfor içeriği önemlidir [34].

Sızıntı suyunun arıtılması birçok araştırmacının üzerinde çalıştığı bir konudur. Genellikle sızıntı suyu yönetiminde, yerinde arıtma ve deşarj için yer seçin ve mevcut kirleticileri gidermek için çok aşamalı birim sürecini benimseyin. Sızıntı suyu arıtma sorunlarına neden olabilecek belirli kirleticiler içerdiğinde, ön arıtma yapmak en iyisidir.

Endüstriyel atıksu arıtımında kullanılan birçok yöntem sızıntı suyu arıtımında da kullanılabilir. Farklı aerobik ve anaerobik arıtma teknolojileri de yaygın olarak kullanılan arıtma yöntemleridir. Bu arıtma proseslerinin verimliliği, sızıntı suyunun akış hızı ve bileşiminden büyük ölçüde etkilenir ve sızıntı suyunun yaşına bağlıdır. Biyolojik arıtma işlemi dirençli organik maddeleri uzaklaştırmak için yeterli değildir. Bu nedenle sızıntı suyunun arıtılması farklı prosesler gerektirmekte ve bu proseslerin başında fiziksel ve kimyasal yöntemler gelmektedir [34].

## BÖLÜM 4

### FENTON PROSESİYLE ATIKSU ARITIMI

#### 4.1. Fenton Prosesini Etkileyen Faktörler

Fenton prosesini etkileyen faktörler;  $Fe^{+2}$ ,  $Fe^{+3}$ ,  $H_2O_2$  konsantrasyonu, pH, sıcaklık, organik ve inorganik kirleticilerin miktarı. Bu parametreler reaksiyonun verimini belirler.

##### 4.1.1. pH

Çalışma pH'ı, kirleticilerin Fenton yöntemiyle bozunması için etkili bir parametredir. Fenton yöntemiyle yapılan araştırmada optimum pH değerinin çoğunlukla 3 olduğu tespit edilmiştir.  $[Fe+_2(H_2O)]^{+2}$  oluşumu daha düşük bir pH değerinde gerçekleştiğinden, daha az hidroksil radikali üretilir.  $pH > 4$  ise  $Fe^{+2}$  kompleksi oluşumu nedeniyle bozunma hızı azalacaktır [35].

##### 4.1.2. Demir iyonu konsantrasyonu

Demirin iyon derişiminin artması bozunma hızınıda artırır. Fakat belirli bir derişimin üstünde bozunma hızıda çok düşüktür. Ayrıca aşırı demir kullanımı nedeniyle çıkışta çözünen veya askıda kalan demir miktarı artacaktır.

##### 4.1.3. Hidrojen peroksit konsantrasyonu

Genel olarak, hidrojen peroksitin derişimi arttıkça kirleticinin bozunma hızıda artacaktır. Ancak, hidrojen peroksit konsantrasyonu çok yüksekse hidroksil grubu ile reaksiyona gireceğinden bu önerilmez. Aynı zamanda aşırı hidrojen peroksit konsantrasyonu KOİ'yi artıracaktır [36].

##### 4.1.4. Sıcaklık

Fenton prosesinde etkili olan diğeri bir parametre de sıcaklıktır. Bir çalışmada, 30°C'lik bir sıcaklığın en iyisi olduğu bulundu. Hidrojen peroksitin su ve oksijene ayrışması 40°C'nin üzerine çıkacağından, sıcaklık 10°C'den 40°C'ye yükseldikçe bozunma veriminin değişmemesi ve bir soğutma işleminin yapılması tavsiye edilir [37].



#### 4.1.5. Kirletici konsantrasyonu

Genel olarak konuşursak, az seviyede kirletici konsantrasyonları idealdir. Endüstri kaynaklı atık sularda genellikle Fenton prosesi kullanılarak yükseltgenme öncesinde seyreltilme işlemi yapılması gerekir. Fenton yöntemiyle klorofenolün oksidasyon özelliklerinin araştırılmasında, klorofenolün Fenton yöntemiyle bozunma etkinliğinin önemli ölçüde azaldığı ve klorür iyonunun p-klorofenolün bozunma ürünü olduğu bulunmuştur [38].

#### 4.1.6. Tamponlayıcı tipi

pH ayarlamalarında kullandığımız tamponlayıcı türünün önemi büyüktür. Daha etkili oksidasyonun verimini asetat tamponuyla elde edebilirken, düşük verimini ise fosfat ve sülfat tamponuyla elde edilebilmektedir [39].

### 4.2. Fenton Prosesin Varyasyonları

#### 4.2.1. Foto-Fenton proses

$Fe^{+2}$ ,  $H_2O_2$  ve UV ışınlarının birleşimi foto-fenton prosesini oluşturmaktadır. Foto-fenton prosesi, fenton prosesine kıyasla yüksek oranda hidroksil radikali üretir ve organik kirleticilerin bozulma hızını ve mineralizasyonunu büyük derecede artırır. Fotokimyasal olarak  $Fe^{+2}$ 'ye indirgenen ve Fenton reaksiyonlarında tekrar  $Fe^{+3}$ 'e yükseltgenen demir iyonlarının çevrimi nedeniyle daha az  $Fe^{+2}/Fe^{+3}$  iyonuna ihtiyaç duyulmaktadır [40].

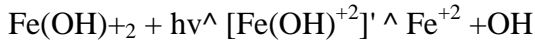
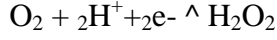


Foto-fenton reaksiyonlarında 400 nm'ye kadar olan fotonlar kullanılabilir.

#### 4.2.3. Elektro-Fenton proses

Yakın yıllar içerisinde suların, atıksuların arıtımıyla elektrokimyasal teknolojinin uygulanması artmıştır. Elektrokimyasal işlemin iki oksidasyon aktivitesi vardır: doğrudan oksidasyon ve dolaylı oksidasyon. Anot yüzeyinde doğrudan oksidasyon meydana gelmesine rağmen, elektrokimyasal işlemler sırasında oluşan güçlü bir oksitleyicide dolaylı oksidasyon meydana gelir [41].

Elektro-fenton yönteminde, katodik oksijenin indirgenmesi ile elektrokimyasal hidrojen peroksit oluşturulur ve Fe<sup>+2</sup> iyonunun ilave edilmesi ile oksidasyon gerçekleştirilir.



Bu reaksiyon, süperoksitanyonik radikal (O<sub>2</sub><sup>-</sup>) ve hidroperoksit radikal HOO<sup>·</sup> oluşumunu içeren kompleks bir reaksiyondur.

Elektro-fenton diğer kimyasal proseslere göre hidroksil radikallerinin daha kontrollü üretimi gibi bir avantaja sahiptir.

Sürekli hidrojen peroksit üretimi ve Fe<sup>+3</sup> iyonlarının katalitik indirgenmesi nedeniyle Fe<sup>+2</sup> iyonlarının bir arada bulunması daha fazla hidroksil radikali üretebilir. Reaktifleri en aza indirmek, işletme maliyetlerini azaltabilir, böylece teknolojinin ekonomik uygulanabilirliğini artırabilir.

### **4.3. Fentonun Kullanım Alanları**

Endüstri kaynaklı sularda (petrokimya, boya, kağıt, tekstil, kimya) çok yaygın kirletici sebeplerindedir. Fenol ve fenol türlerine endüstriyel atık sularda sıklıkla rastlanır. Özellikle kömür işletmelerinin kömür damıtma ve organik sentez atıksuları büyük oranda fenolün ve türevlerinin kirliliği bulunmaktadır. Fenol bileşikleri üstelik kağıt hamuru ve kağıt ağartma tesislerinden, reçine pestisitlerinden, pestisitlerden, boyalardan ve solventlerden gelen endüstriyel atık sularda da bulunur. Fenton ile fenol, klorofenol, nitrofenol ve 2,4-dinitrofenolün oksidasyonu üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Fenol ve 2,4-diklorofenol organik maddeler içeren sentetik atık suların ileri oksidasyon prosesleri (UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fenton ve Photo-Fenton) ile arıtılabileceğinin araştırıldığı çalışmalarda, Fenton proseslerinin atıksuların arıtımı için verimli bir yöntem olduğu saptanmıştır. Fenolün 2 saatlik tepkime süresi içinde tamamı ayrışır. Öte yandan Foto-Fenton işlemi ile fenolün tamamen parçalanması için gereken süre 2,5-5 dakikaya düşürülür [42].

### 4.3.1. Patlayıcılar

2,4,6-trinitrofenol (PA), acı amonyum nitrat (AP), 2,4-dinitrotoluen (DNT), metil-2,4,6-trinitrobenzen nitramin (Tetrile) Ve 2,4,6-trinitrotoluen (TNT)) I. Dünya Savaşı'nda kullanılan heterosikliknitroaminler (heksahidro-1,3,5-trinitro-1,3,5-trinitrotoluen) Oksazin, RDX ve oktahidro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazosin (HMX) I'dedir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra geliştirilmiştir. Bu patlayıcılar sucul ve karasal organizmalara karşı etkilidir. Fenton yöntemi, patlayıcıları oksitlemek için iyi bir yoldur. Fenton prosesleri aracılığıyla; 2,4-Dinitrotoluen (DNT), 2,4,6-Trinitrofenol (PA), Amonyum Pikrat (AP), 2, 4, 6-Trinitrotoluen (TNT), Metil- 2,4,6-Trinitrofenilnitroamin (Tetrile), heksahidro-1, 3,5-trinitro-1, 3,5-triazin (RDX), oktahidro-1, 3, 5, 7-tetranitro -1, 3, 5, 7-tetrazosin (HMX) ve diğer patlayıcılar yüksek verimde oksitlenebilmektedir[43].

### 4.3.2. Anilin

Anilin ve türevleri; petrol, kağıt, kömür ve kimya endüstrilerinin bir yardımcı ürünüdür. Bu aromatik aminler toksiktir ve hemoglobini methemoglobine dönüştürmek için kanla reaksiyona girer. Fenton işlemi, anilinin bozunması için de kullanılır ve bir bozunma yolu bulunmuştur. Çalışma koşullarına göre Fenton anilinin bozunma verimi %18 ile %85,9 arasındadır [44].

### 4.3.3. Karbon tetraklorid

Karbon tetraklorür, ticari ve askeri uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve yüksek klor biyobozunmasına karşı kirletici olarak güçlüdür. Karbon tetraklorür, solvent, pestisit, soğutucu ve aerosol itici olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır. Karbon tetraklorür gibi oksitleyici bileşiklerin ayrışması, oksidasyon yerine indirgeme yoluyla gerçekleştirilir. Bu nedenle, karbon tetraklorür hidroksil grubu ile reaksiyona girmez. OH, bir süperoksit radikal anyonu ( $O_2^-$ ), hidroperoksit ( $HO_2^-$ ) veya her ikisi gibi davranır. Bu Fenton sürecini iyileştirmek için yüksek konsantrasyonlarda hidrojen peroksit kullanılmasının sonucudur. Karbon tetraklorürün indirgeyici olmayan maddelerle indirgenebileceği gösterilmiştir. Karbon tetraklorürün %50'sinin modifiye Fenton yöntemiyle ayrıştırıldığı bulunmuştur [45].

#### **4.3.4. Metil tert-butil eter (MTBE)**

1979'dan beri, metil tert-butil eter, Amerika Birleşik Devletleri'nde kurşunun yerini almak için bir oktan hızlandırıcı olarak kullanılmıştır. En yaygın kullanılan yakıt oksijenatörü (%85). MTBE'nin yaygın kullanımı bir sorundur. 0.02 mg/l'den düşük olduğunda kötü tat ve renk tespit edilebilir. MTBE'nin adsorbe edilmesi zordur, kimyasal ve biyolojik olarak stabildir ve suda yüksek oranda çözünür. Bu nedenle MTBE, çevreye karşı güçlü bir dirence sahiptir. MTBE'nin %90-99'unun Fenton yöntemiyle ayrıştırıldığı bulunmuştur [46].

#### **4.4. Endüstride**

##### **4.4.1. Tekstil endüstrisi**

Tekstil endüstrisi atıksuları, proseste kullanılan boyalara, yüzey aktif maddelere ve tekstil yardımcılarına bağlı olarak başta yüksek organik madde ve renk parametreleri olmak üzere oldukça değişken kirleticiler içerir. Alıcı ortama giren renkli atık su, su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltmakta ve fotosentez faaliyetlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca bazı sucul organizmalarda boya birikimi toksik ve kanserojen ürünler riskini de beraberinde getirmektedir [47].

Tekstil endüstrisinde atıksu arıtımının ana prosesleri adsorpsiyon yöntemi, iyon değiştirme yöntemi, membran yöntemi, kimyasal oksidasyon yöntemi, kimyasal çökeltme yöntemi ve biyolojik arıtma yöntemi olarak sıralanabilir. Tekstil atık sularını arıtmak için kullanılan geleneksel yöntemler (biyolojik arıtma, fiziksel-kimyasal arıtma (pıhtılaştırma-flokülasyon ve aktif karbon adsorpsiyonu), boyaların düşük moleküler ağırlıkları ve suda yüksek çözünürlükleri nedeniyle çok etkili değildir. Ayrıca bu yöntemlerde boya saflaştırma yerine başka bir aşamaya aktarılır.

Fenton gibi ileri oksidasyon yöntemleri, tekstil atıksu arıtımında son zamanlarda giderek daha önemli hale geldi. Fenton işleminde oluşan hidroksil radikalleri, organikleri oksitler, bu da yüksek oranda reaktif ve oksitlenebilir organik serbest radikallerin oluşumuna neden olur. Fenton prosesinde oksidasyon ve koagülasyon aynı anda gerçekleştiği için koagülasyon-flokülasyon prosesine göre daha az çamur üretilir.

Fenton prosesi; reaktif boyalar, direkt boyalar, bazik boyalar, asit boyalar ve dispers boyalar içeren tekstil atıksularında renk ve KOİ gideriminde etkili bir yöntemdir [48].

Polyester, asetat boyama çıktısında çeşitli ileri oksidasyon proseslerinin ve kimyasal arıtma yöntemlerinin KOİ ve renk giderimini en iyi koşullar altında karşılaştıran bir çalışmada, Fenton prosesinin KOİ giderim verimi %96, renk giderim oranı %94'tür. Fenton ve Foto-Fenton prosesleri ve oksidasyon yoluyla Reaktif Siyah 5 (RB5) renk giderme çalışmasında, renk giderme verimliliği %97.5 ve %98.1, toplam organik karbon (TOC) giderme verimliliği ise %21.6 ve %46.4 olmuştur [47].

#### **4.4.2. Afyon alkaloidleri endüstrisi**

Belirli sayıdaki afyon ve alkaloid fabrikalarının çoğu gelişmekte olan ülkelerde kuruludur ve bu işlemler sırasında üretilen atık suların özellikleri, arıtılması ve uzaklaştırılması ile ilgili literatürde detaylı bilgi bulunmamaktadır. Afyon alkaloidlerinin endüstriyel atıksularında kimyasal pıhtılaşma KOİ ve renk gideriminde gerekli sonuçelde edilememektedir. Laboratuvar ölçekli havasız çamur reaktörü + hava sıralı kesikli reaktör sisteminde, 2 aşamalı biyolojik arıtma, yüksek KOİ, TKN, koyu renk ve biyolojik olarak bölünemeyen optimal koşullara Fentonoksidasyon işlemi uygulanır, %90 KOİ ve %95 elde etmek için organik kirleticilerin renk giderme etkinliği. Fenton oksidasyon işleminden çıkan atık suyun KOİ ve kromatikliği çevresel emisyon standartlarını karşılayabilmektedir [49].

#### **4.4.3. Kağıt endüstrisi**

Kağıtların endüstri alanında etkisi doğaya büyük ölçüde katı, sıvı ve gaz atık bırakmalarıdır. Kağıt endüstrisindeki önemli sorun atık su miktarının fazla olmasıdır. Çıkışta kağıt sektörünün farklı aşamalarında üretilen 250'den fazla kimyasal tespit edildi. Bu kirleticilerden bazıları ahşap işleme sırasında doğal olarak üretilir (tannin, lignin, reçine asidi vb.). Diğer kısım ise üretim aşamasında oluşan bileşiklerdir (klorlu lignin, fenol, dioksinler vb.). Fenton yönteminin kağıt endüstrisi atık suyunda uygulanması olumlu sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Fenton yöntemi, kağıt endüstrisinden gelen biyolojik olarak ön arıtılmış atık suyu oksitleyerek ve %83 KOİ ve %95 renk giderme verimi sağlayabilmektedir [50].

#### **4.4.4. Zeytinyağı endüstrisi**

Bu sektörde çok fazla atık su oluşmaktadır. Zeytinyağı sektörü belirli mevsimlerde üretilse de yüksek düzeyde atık su kirliliği üretmektedir. Bu nedenle atık suların uzaklaştırılması ve yönetimi oldukça zordur. Ek olarak, atık sudaki belirli bileşiklerin şelatlama özellikleri, mevcut atık su sorununu karmaşıklaştıran bazı toksik ağır metallerin tutulmasına yardımcı olabilir. Fenton prosesi zeytinyağı endüstriyel atıksularında kullanılmakta ve prosesin maliyeti belirlenmektedir. Bu çalışmada, zeytinyağı endüstriyel atıksularının arıtılması için ön arıtma aşaması olarak elektrikli Fenton yöntemi kullanılmış ve KOİ %68 oranında azaltılmıştır. Bu endüstrilere ek olarak; Fenton teknoloji, fotoğrafçılık, fermantasyon vb. birçok endüstride kullanılmıştır [51].

#### **4.5. Dezenfeksiyonda**

Su temini ve atık su arıtımında yaygın olarak kullanılan bir prosestir. Klorlama en yaygın kullanılan dezenfeksiyon yöntemidir. Bununla birlikte, klor kullanımı ciddi güvenlik ve büyük ekolojik riskler doğurur. Ozon, ultraviyole ışık ve  $C_1O_2$  gibi diğer uygulamalar daha pahalıdır ve klorlama kadar kullanışlı değildir. Fenton aşamasında oluşmuş hidroksil radikali, hücredeki bileşenlerin salınmasına ve hücrenin alanında bozunmaya sebep olan alternatif bir dezenfektandır. Fenton prosesinin kullanıldığı bir dezenfeksiyon çalışmasında %99,8 bakteri yok etme oranı elde edilmiştir [52].

#### **4.6. Pestisit oksidasyonunda**

Pestisitler sularda kendiliğinden ayrılan bileşiklerdir. Bunların bir bölümü canlı organizmalarda birikerek zararlı sonuçlara sebep oluyorken, öbür bileşikler canlı organizmalarda mutajenik ve kanserojen etkilere neden olmaktadır. Pestisit kirliliğinin ana kaynakları, tarım endüstrisinden ve pestisit üretim tesislerinden gelen atık sulardır. Fenton yöntemi, pestisit bozunmasında yaygın olarak kullanılmadığı gibi, büyük ölçekte de uygulanmamıştır. Fenton yöntemi, triazin herbisitleri, kloroasetanilid herbisitleri, klorofenoksiasetat herbisitleri ve metil paration'ı bozundurduğu çalışmalarda ortaya konulmuştur. Tam ayrıştırma yaklaşık 30 dakikada tamamlanabilmektedir [53].

Mitokondri, diazinon ve probenofos gibi organofosforlu pestisitlerin ileri oksidasyon işlemleriyle bozunabilirliğinin araştırılmasında, Fenton yöntemiyle elde edilen TOC giderim oranları sırasıyla %54.1, %12.9 ve %50.3'tür.

#### **4.7. Çamur şartlandırmada**

Klasik aktif çamur yöntemi, fazla oranda çamur üretir. Çamur arıtma maliyetinin, toplamdaatıksu arıtma maliyetinin %35-50'si kadardır. Bunun için üretilen çamurun oranının azalması ve çamurdaki suyun ayrılması mühim hususlardandır. Isıl işlem, kimyasal oksidasyon, termokimyasal arıtma ve mekanik bozunma benzeri metotlar, üretilmiş çamurun miktarını azaltmak, çamuru kurutmak için yaygın olarak kullanılan çamur şartlandırma işlemlerinden bazılarıdır. Fenton ile ön oksidasyon sonucunda, filtre kekinin kuru katı ve organik katı içeriği %20, çamur hacmi %30 ve çamur kekinin kuru katı içeriği %30 artırılmıştır [54].

#### **4.8. Katı atık sızıntı suyu arıtımında**

Sızıntı sularının birleşimi; atıkların içerikleri ve yapısı, pH değerleri, redoks potansiyeli, iklimsel şartlar, depolama süresine bağlı olarak değişmektedir. Sızma suyu, metaller dışında organik ve inorganik iyonlar ve mikro kirleticiler içerebilir. Tank yaşı sızıntı suyunun özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Depolama süresi uzadıkça biyobozunma tamamlandıkça kolay bozunan organik maddelerin oranı azalır. Bu nedenle genç depolama alanından sızıntı suyunun BOİ/KOİ > 0,5 olmasına rağmen eski depolama alanından sızıntı suyunun BOİ/KOİ 0,2'den küçük olduğu belirtilmiştir [55].

Katı atık sızıntı suyundaki kalıcı organik madde biyolojik yöntemlerle giderilemediğinden öncesinde veya sonrasında arıtma aşaması olan ileri oksidasyon prosesleri kullanılmaktadır. 1990 yılından bu zamana Fenton prosesi, atıkların neden olduğu sızıntı sularının arıtılmasına odaklanmıştır. Sızıntı suyundaki organik maddelerin giderilmesi için Fenton yönteminin kullanılması, sızıntı suyunun özelliklerine bağlıdır.

Yapılan bir çalışmada katı atık sızıntı suyunun arıtımı için ön arıtma adımı olarak Fenton prosesi kullanılmış ve %60 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Pıhtılaştırma ile

ön işleme tabi tutulan katı atıkların sızıntı sularına Fenton prosesinin uygulanmasıyla %80'lik bir kimyasal oksijen giderim verim sağlanmıştır. [54].

#### **4.9. Sızıntı Suyu Arıtımına İlişkin Literatür Taraması**

Diamadopoulos ve arkadaşları 1997 yılında, depolama sızıntı suyu ve kanalizasyon alt yapısından alınarak karıştırılan atık suyun biyolojik olarak arıtılmasının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Sızıntı suyu ile evsel atık suyun ardışık kesikli reaktörde hacimsel olarak 9/1 oranında karıştırıldığı çalışmada BOİ'nin %95, nitratın da %99 oranında giderildiğini tespit etmişlerdir [56].

Kang ve Hwang 2000 yılında, sızıntı suyundan Fenton prosesi ile KOİ giderimi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, optimum koşulları belirleyerek ( $H_2O_2$ : 1650 mg/L,  $Fe_{2+}$ : 500 mg/L) %70 oranında KOİ giderimi elde etmişlerdir [57].

Lin ve Chang 2000 yılında, sızıntı suyundan elektro-Fenton metodu ile yaptıkları arıtım çalışmasında optimum koşullar altında (pH: 4, akım: 2.5A,  $H_2O_2$ : 1000 mg/L, deneysel süre: 31 dakika) %70.4 KOİ giderimi elde etmişlerdir [58].

Yalılı ve arkadaşları tarafından 2006 yılında, sızıntı sularından fizikokimyasal arıtma yöntemleri kapsamında kireçle ön arıtma, demir (III) klorür ve alüminyum sülfat ile kimyasal arıtma yapıldığı belirtilmiştir. Kireçle ön arıtma ile %38 KOİ, demir (III) klorür ve alüminyum sülfat ile yapılan arıtma sonucunda sırası ile %55 ve %59 KOİ giderimi sağlanmıştır. Yapılan respirometrik ölçümlerin sonucunda kireçle ön arıtmadan geçirilen ve amonyağı sıyrılan sızıntı sularının evsel atıksularla birlikte arıtılabildiği sonucuna varılmıştır [59].

Wang arkadaşlarının 2000 yılında yapmış oldukları çalışmada, anaerobik olarak arıtılmış sızıntı suyuna Fentonkoagülasyon yöntemini uygulamışlar ve optimum koşullar altında (KOİ girişi: 1500 mg/L, pH girişi: 4- 6,  $Fe_{2+}$ : 300 mg/L,  $H_2O_2$ : 200 mg/L) maksimum %70 KOİ giderimi elde etmişlerdir [60].

Lau arkadaşları tarafından 2001 yılında, anaerobik ön arıtıma tabi tutulmuş sızıntı suyuna Fentonkoagülasyon yöntemini uygulamışlar ve optimum koşullar altında (pH girişi: 6,  $H_2O_2$ : 200 mg/L,  $Fe_{2+}$ : 300 mg/L) maksimum %70 KOİ giderimi elde etmişlerdir [61].



Gulsen ve Turan'ın 2004 yılındaki çalışmalarında, anaerobik akışkan yataklı reaktör ile ön arıtım uygulanmış sızıntı suyundan Fentonoksidasyonu ile yaptıkları KOİ giderim çalışmasında optimum koşullar altında (pH: 2.5, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 1200 mg/L,) %85 KOİ giderimi elde etmişlerdir [62].

Şahinci tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada, Tekirdağ İli Katı Atık Düzenli depolama alanından alınan ham numunelerin KOİ değerlerinin sırasıyla 2572, 2238 ve 1874 mg/L olarak ölçüldüğü ve Fenton prosesinde ilk numunede en uygun H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozunun 13200 mg/L, en uygun FeSO<sub>4</sub> dozunun ise 9900 mg/L olarak bulunduğu belirtilmiştir. Bu numunede fenton işlemi ile KOİ giderim veriminin %80'ler civarında olduğu, ayrıca demir bazlı koagülantların alüminyum (Al) bazlı koagülantlara göre daha verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır [63].

Değirmenci ve arkadaşları tarafından 2014 yılında, Fenton prosesi ile KOİ giderim verimini arttırmak amacıyla yapılan çalışmada, Fe<sup>+2</sup> konsantrasyonu, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu ve pH parametrelerinin optimum değerleri sırasıyla 1.61 g L<sup>-1</sup>, 10 g L<sup>-1</sup> ve 4 olarak belirlenmiş olup bu şartlarda %88 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Fentonoksidasyon prosesinin yüksek KOİ içeren atıksularda uygulanabileceği belirtilmektedir [64].

Teh ve arkadaşlarının 2016 yılında, depolama alanı sızıntı suyunda bulunan kalıcı organik kirleticilerin bozunması için heterojen Fenton işleminde katalizör olarak manyetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) ile kömür 38 uçucu külü üzerinde stabilize edilmiş Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>'ü kullanmışlardır. Fenton deneyleri kesikli olarak gerçekleştirilmiştir ve etkili KOİ giderimi için optimum çalışma koşulunu belirlemek amacıyla sızıntı suyu pH'ı, katalizörler ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozajları değiştirilmiştir. Katalizörlerin yeniden kullanılabilirliği incelenmiştir. Bozunma mekanizması ile adsorpsiyon çalışmasını anlamak için benzoik asidin Fentonoksidasyonu ve KI ve NaF ile temizleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Uçucu külle güçlendirilmiş Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>'ün, 100 dakikalık reaksiyon süresinde optimum pH 3, 0.05M H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve 1000 mg/L katalizör dozajında Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>'ten %12.3 daha yüksek giderim verimliliğine sahip olduğu %84.7 oranında KOİ giderimi sağladığı görülmüştür. Bu uçucu kül takviyeli Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>'ün, %68 TOK giderimi sağladığı ve biyolojik olarak parçalanabilirlikte iyi bir artış gösterdiği kaydedilmiştir. Fenton muamele sürecinde düşük NH<sub>3</sub>-N giderimi gözlenmiştir. Sonuçlar, uçucu kül ile zenginleştirilmiş

$Fe_3O_4$ 'ün, olgun sızıntı suyunun arıtılması için heterojen Fenton işleminde etkin bir katalizör olduğunu göstermiştir [65].

Göde ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışmada, depolama sahası sızıntı suyunun üçüncül arıtımı için Fenton ve Fenton benzeri proseslerin performansını değerlendirmişlerdir. Çalışmada, Fenton-Benzeri işlem için demir iyonları kullanılmıştır. Renk ve toksisite azalmasını, kimyasal ve biyokimyasal oksijen ihtiyacının yanı sıra dışkı koliformlarını, amonyak, demir ve fosfor içeriklerini araştırmayı amaçlamışlardır. Sızıntı suyu renk azalmaları, Fenton ve Fenton benzeri işlemler için sırasıyla %98.17 ve %70 oranında gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda Fenton ve Fenton benzeri proseslerin, ham atık suyun toksisitesini azalttığı ve Fenton proses ile atık suyun gözlenen toksisitesinin önemli ölçüde daha düşük çıktığı görülmüştür. Fenton benzeri sürecin düzenli depolama sahası sızıntı suyunun üçüncül arıtımı için bir alternatif olarak değerlendirilebileceği ve performansının Fenton süreci ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülmüştür [66].

Rao ve Shrivastava 2020 yılında yaptıkları çalışmada, heterojen endüstriyel sektörün birleşik atık su arıtma tesisinden gelen inatçı atıklarının fotokataliz ve Fenton prosesleri kullanarak arıtılmasını incelemiştir. Bu atık suyun çok karmaşık ve genellikle yoğun renk ve değişken özelliklere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Foto-kataliz ile renk ve KOİ'deki azalmayı sırasıyla %10 ve %5 olarak bulmuşlardır ve Fenton prosesi ile 2 saat 34 sonra sırasıyla %80 ve %72 değerlerini elde etmişlerdir.  $H_2O_2$   $Fe^{2+}$  konsantrasyonlarının optimizasyonu, renk ve KOİ'deki maksimum azalmanın  $H_2O_2:Fe^{2+}$  (30:1) oranında gerçekleştiğini göstermiştir [67].

Roudi ve arkadaşlarının 2020 yılında yaptıkları çalışmada düzenli depolama sahası sızıntı suyunun arıtılması ve özellikle toplam organik karbon (TOK) giderimi için en iyi sonucu elde etmek üzere yanıt yüzey metodolojisi (RSM) yöntemini kullanmışlardır. Toplam organik karbon gideriminde hidrolik tutma süresi, pH,  $Fe^{+2}$  konsantrasyonu ve  $H_2O_2: Fe^{+2}$  oranı gibi çeşitli parametreler incelenmiştir. İyileştirme prosedürünü geliştirmek ve en önemli rolü oynayan parametreleri karakterize etmek için yanıt yüzey metodolojisi uygulanmıştır.  $Fe^{+2}$  konsantrasyonunun olumsuz bir etkisi olurken ve  $H_2O_2: Fe^{+2}$  oranının organik karbonun giderilmesi üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Sonuçlar, optimum toplam organik karbon gideriminin 37.31 dakika, pH 3,  $H_2O_2: Fe^{+2}$

4,75 oranında ve 634.49 mg/L  $Fe^{+2}$  şartlarında gözlemlendiğini göstermiştir. Toplam 37 organik karbon gideriminin deneysel değerleri, yanıt yüzey metodolojisi aracılığıyla ve optimum ayarlarda doğrulanmıştır, böylece toplam organik karbon gideriminin %95,16'sı gözlemlenmiş ve böylece geliştirilen modelin sonuçları doğrulanmıştır. 1'e yakın olan %95,29 katsayılı yüksek bir  $R^2$  değeri hem deneysel hem de model analizlerinin sonuçlarındaki bazı yakın benzerlikleri doğruladı. Roudi ve ark., oluşturduğu ampirik modelin, Fenton prosesi kullanılarak sızıntı suyundan toplam organik karbonun giderimini tahmin etmek için kullanılabileceği belirtilmiştir [68].

Liu ve arkadaşlarının 2020 yılında, çöp sızıntı suyu arıtımını iyileştirmek için Fenton prosesi ile sinerjik olarak bağlanan membran elektrokimyasal reaktörünü kullanarak yaptıkları çalışmalarında iki aşamalı birleştirilmiş sistemin, sızıntı suyunun KOİ'sini %88 oranında giderdiğini bildirmişlerdir. Çamur üretiminin ağırlıkça %51, hacim olarak %12 azaldığı kaydedilmiştir. Önemli bir bulgu olarak, doğrudan Fenton oksidasyonu, amonyağın yalnızca %21'ini gidermiştir. MER'in Fenton prosesi ile birleştirilmesinin, Fenton oksidasyonunun yüksek asit ve kimyasal reaktif doz gereksinimleri ve büyük miktarda çamur oluşumu gibi bazı doğal dezavantajlarını ortadan kaldıracabileceğini göstermektedir [69].

Beyazıt ve Atmaca 2021 yılında yaptıkları çalışmada, sızıntı suyundan Elektro-Fenton ve Foto-Elektro-Fenton yöntemleri ile KOİ ve renk giderimi üzerine pH, akım yoğunluğu,  $H_2O_2$  konsantrasyonu, elektrotlar arası mesafe etkileri incelemiş ve optimum deneysel koşulları belirlemişlerdir. Elektro-Fenton prosesinde KOİ giderimi için optimum koşulları (pH: 3, akım yoğunluğu: 100 A/m<sup>2</sup>,  $H_2O_2$ : 2000 mg/L, karıştırma hızı: 250 rpm, elektrotlar arası mesafe: 1.5 cm) olarak belirlemişlerdir. Bu koşullarda 0.79 kWh/m<sup>3</sup> lük elektrik enerjisi tüketimi ile maksimum % 68 KOİ giderimi, % 69 renk giderimi elde etmişlerdir. Foto-elektro-Fenton prosesi için optimum koşullar (pH: 3, akım yoğunluğu: 10 A/m<sup>2</sup>,  $H_2O_2$ : 1000 mg/L, UV lamba: 16W, karıştırma hızı: 250 rpm, elektrotlar arası mesafe: 1.0 cm) belirlenerek bu koşullarda arıtım verimi KOİ gideriminde %83.84 ve renk gideriminde %84.86 ya ulaştığını tespit etmişlerdir [70].

## BÖLÜM 5

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 5.1. Çalışması Yürütülen Tesisin Tanıtımı

##### 5.1.1. Sivas Belediyesi katı atık tesisi

Sivas katı atık tesisi 2014 yılına kadar vahşi depolama alanı olarak kullanılmaktaydı. Sivas Belediyesi tarafından hazırlatılan proje bakanlık tarafından onaylandıktan sonra düzenli depolama tesisinin inşası tamamlanmış ve 2014 yılı sonu itibariyle faaliyete geçmiştir. 2014 ve 2015 yılları arasında devreye alınan tesiste düzenli depolama ve çöp gazından elektrik enerjisi üretimi başlamıştır.



Resim 5.1. Sivas Belediyesi katı atık düzenli depolama tesisi [71]



Resim 5.2. Sızıntı suyu havuzu

## 5.2. Materyal

Çalışmalarda kullanılan foto-Fenton reaktör kabini yapım aşamaları ve görseli Resim 5.3 ve 5.4’te verilmiştir.

**Ultraviyole lambalar:** Ultraviyole (UV) lambalar genellikle mikropları yok etme dezenfeksiyon işlemi amacıyla günümüzde tercih edilen lambalardır. Genel olarak hava, su, tıbbi alanlarda dezenfeksiyon için kullanılır. Düşük ve orta basınçlı çeşitleri vardır. 254 nm(nanometre) dalga boyu sterilizasyon işlemi için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, 8 watt gücünde 254 nm dalga boyunda ve hepsi farklı anahtarlara bağlanmış (Resim 5.3) 8 adet OsramGermicidal marka, civalı, UV-C (254 nm) tipi ultraviyole lambalar kullanılmıştır.



Resim 5.3. Osram 8 adet UV-C (254 nm) tipi ultraviyole lamba

**Foto-Fenton reaktörü (UV kabin):** UV kabin Resim 5.4’de görüldüğü gibi deneylerde kullanılacak manyetik ısıtıcıyla karıştırma işlemi yapılacak şekilde 50cmx50cmx70cm ebatlarında tasarlanmıştır. Yanlarda 2’şer adet, üst tavanda 4 adet olmak üzere toplamda 8 adet 8 watt gücünde 254 nm dalga boyunda Uv-C lambalar takılmıştır. Kabinin içerisindeki sabit sıcaklığı muhafaza etmesi ve ışığı yansıtması amacıyla alüminyum kaplama yapılmıştır. Çalışmalar da belirli aralıklarla kabinin sıcaklığı dijital termometre ile kontrol edilmiştir.



Resim 5.4. Foto-Fenton reaktörü (UV kabin)

**Analize ait örnek numunenin alınması ve laboratuvara getirilmesi:** Çalışmaya ait örnek numune; Sivas Belediyesi katı atık sızıntı suyu havuzundan numune alma koşullarına uygun olarak alınmıştır. Oksijenle teması olmayacak şekilde ağzları sıkıca kapatılmış kapalı kaplarla 10 litre numune alınmıştır. Alınan numunelerin üzerine tarihi, saati, numunenin alındığı yer, danışman ve öğrenci bilgileri yazan etiketler yapıştırılmıştır. Örnekler beklemeksizin +4 °C’de laboratuvara getirilmiş ve deney çalışmaları süresince soğuk dolapta (+4 °C) de saklanmıştır.

### **5.3.Yöntem**

Yapılan analizlerde Sivas Belediyesi katı atık sızıntı suyundan alınan ham atık su örneğinde ilk olarak klasik Fenton prosesi uygulanarak en iyi pH değerinde  $Fe^{+2}$  ve  $H_2O_2$  optimum giderim oranları belirlenmiş daha sonrada UV-C lamba altında foto-Fenton prosesi uygulanarak uygun pH’ta en iyi  $Fe^{+2}$  ve  $H_2O_2$  oranları belirlenmiştir. Bu proseslerin uygulanmasının ardından ek çalışmalar yapılmıştır. Optimum  $Fe^{+2}$  de kimyasal kullanımı minimum seviyeye indirerek fazla verim sağlanması açısından farklı  $Fe^{+2}$ ,e karşılık  $H_2O_2$  değerleri üzerinde çalışılmıştır. Arıtımın yüksek, kimyasal kullanımının minimum olduğu  $Fe^{+2}$  ve  $H_2O_2$  değerlerinde klasik ve foto Fenton prosesleri uygulanmış ve reaksiyon temas süreleri belirlenmiştir. UV kabin içerisindeki lambalardan farklı ışık yoğunluğunda foto-Fenton prosesi uygulanarak KOİ giderim verimleri belirlenerek arıtım üzerindeki etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

#### **5.3.1.Analizlerde kullanılan çözeltilerin hazırlanması**

Deneyleerin yapımında %50’lik  $H_2O_2$  çözeltisi kullanılmıştır. Fenton deneyleerinde ve pH değerlerini ayarlamak için  $H_2SO_4$  ve NaOH çözeltileri kullanılmıştır. KOİ analizleri için de  $K_2Cr_2O_7$  ve  $Ag_2SO_4$  çözeltisi kullanılmıştır. %50’lik  $H_2O_2$  stok çözeltisinden 88.42 mL alınıp üzerine 411.52 mL saf su eklenerek 500 mL’ye tamamlanmıştır. 2,450 gr potasyum dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) çözeltisinin üzerine 83.5 mL sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ve 16,65 gr  $HgSO_4$  eklenerek 250 mL saf su 500 mL’ye tamamlanmıştır. 250 mL saf su üzerine 10 gr sodyum hidroksit (NaOH) eklenerek 1 M NaOH çözeltisi hazırlanmıştır. 3 M  $H_2SO_4$  hazırlamak için, %98’lik  $H_2SO_4$  çözeltisinden 21 mL alınarak üzerine saf su eklenmiş ve 250 mL’ye tamamlanmıştır.  $H_2SO_4$  reaktifi hazırlamak için %98’lik 500 mL sülfürik asit çözeltisine 4.5 gr gümüş sülfat eklenerek hazırlanmıştır. Çözeltilerin

hazırlanmış kimyasallar (Merck marka), saklama şişelerinden (mavi kapaklı vidalı pyrex) kullanılmıştır.

### **5.3.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizi**

Analizler 10 mL'lik cam, vida kapaklı yüksek sıcaklığa dayanıklı KOİ tüplerinde 3 tekrarlı olarak kapalı reflüks yöntemi ile yapılmıştır.

### **5.4. Klasik Fenton Deneylerinde İzlenen Yöntem**

#### **5.4.1. Klasik Fenton yöntemine göre optimum $Fe^{+2}$ dozajının belirlenmesi**

Klasik Fenton oksidasyon prosesi ile yapılan çalışmalar en iyi arıtımın pH 3 değerinde olduğunu göstermiştir. Bu nedenle çalışmalar pH 3'te yapılmıştır. Klasik Fenton prosesine göre optimum  $Fe^{+2}$  dozajının belirlenmesi için  $Fe^{+2}$  değerlerinin değişken,  $H_2O_2$  değerlerinin sabit (2000 mg/L) tutulup en iyi pH değerindeki arıtma verimleri izlenmiştir.

Bu yöntemde aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

1. Numuneden 8 adet 400 mL'lik cam beherlere 200 mL'lik örnek alınarak 3M  $H_2SO_4$  ile pH'ları 3'e ayarlanmıştır.
2. Numunelerin pH değerleri ayarlandıktan sonra her bir numunenin üzerine sabit değerde 2000 mg/L  $H_2O_2$  çözeltisi eklenmiştir. 1.numuneden başlanarak sırasıyla 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 125 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L ve 400 mg/L  $Fe^{+2}$  konsantrasyonları sağlanacak şekilde  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 'dan eklenerek klasik Fenton yöntemi uygulanmıştır.
3. Hazırlanan numuneler manyetik karıştırıcıda  $23 \pm 2$  °C'de 400 rpm hızlı karıştırma, sonrasında 90 rpm yavaş karıştırma işlemi yapılmıştır. Toplam reaksiyon süresi 45 dakika olarak ayarlanmıştır.
4. Numunelerin çökelek oluşturması için 1M NaOH çözeltisi eklenerek pH'ları yükseltilmiştir. En iyi çökelmenin gözlenmesi ve arıtımın takibi için numuneler 2 saat çökelmeye bırakılmıştır.
5. Tüm numunelerin çökelek oluşturmasının ardından üzerlerinden 2'şer mL numune alınmış olup her numune için 3 tekrarlı olmak üzere KOİ ölçümleri yapılmıştır.



#### 5.4.2. Klasik Fenton yöntemine göre optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozajının belirlenmesi

1. Klasik Fenton yönteminde optimum Fe<sup>+2</sup> 300 mg/L değeri sabit olacak şekilde optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> giderim verimi çalışılmıştır.
2. Numuneden 10 adet 400 mL'lik cam beherlere 200 mL'lik örnek alınarak 3M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile pH'ları 3'e ayarlanmıştır.
3. Numunelerin pH değerleri ayarlandıktan sonra her bir örnek numunenin üzerine 1.yapılan yöntem sonucunda belirlenen optimum değerde 300 mg/L Fe<sup>+2</sup> konsantrasyonunda FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O çözeltisi eklenmiştir. 1.numuneden başlanarak sırasıyla 3000 mg/L, 2500 mg/L, 2000 mg/L, 1500 mg/L, 1250 mg/L, 1000 mg/L, 750 mg/L, 500 mg/L, 400 mg/L ve 300 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklenerek klasik Fenton arıtma işlemi uygulanmıştır.
4. Hazırlanan numuneler manyetik karıştırıcıda 23±2°C'de 400 rpm hızlı karıştırma, sonrasında 90 rpm yavaş karıştırma işlemi yapılmıştır. Toplam reaksiyon süresi 45 dakika olarak ayarlanmıştır.
5. Numunelerin çökelek oluşturması için 1M NaOH çözeltisi eklenerek pH'ları yükseltilmiştir. En iyi çökeltmenin gözlenmesi ve arıtımın takibi için numuneler 2 saat çökelmeye bırakılmıştır.
6. Tüm numunelerin çökelek oluşturmasının ardından üzerinden 2'şer mL numune alınmış olup her numune için 3 tekrarlı olmak üzere KOİ ölçümleri yapılmıştır.

#### 5.4.3. Klasik Fenton prosesine göre optimum arıtım süresinin belirlenmesi

1. ve 2. yöntemdeki bulgular neticesinde en iyi değerler sabit olacak şekilde klasik Fenton prosesinde arıtımın uygulanma sürelerine göre optimum verim değerleri izlenmiştir.

1. Örnek numuneden 1000 mL alınarak 3 M sülfürik asit çözeltisi ile 1.ve 2. yöntemde belirlenen optimum değerleri alarak klasik Fenton prosesi uygulanmıştır. 400 rpm hızlı karıştırmada 5 dakika manyetik karıştırıcıda karışım yapılmıştır.
2. 90 rpm 60 dakika yavaş karıştırmaya alınan numune sırayla 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60 dakikalarda 100 mL' lik erlenlere alınmıştır.

3. Numunelerin çökelek oluşturması için 1M NaOH çözeltisi eklenerek pH'ı 8'e yükseltilmiştir. En iyi çökelmenin gözlenmesi ve arıtımın takibi için numuneler 2 saat çökelmeye bırakılmıştır.
4. Tüm numunelerin çökelek oluşturmasının ardından üzerinden 2'şer mL numune alınmış olup her numune için 3 tekrarlı olmak üzere KOİ ölçümleri yapılmıştır.

### **5.5. Foto Fenton Deneylerinde İzlenen Yöntem**

Analizler aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

#### **5.5.1. Foto-Fenton prosesine göre optimum $Fe^{+2}$ dozajının belirlenmesi**

1. UV lamba altında klasik Fenton prosesindeki optimum  $Fe^{+2}$  deneyinde ilave edilen  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  dozlama değerleri değişken olup  $H_2O_2$  değerleri sabit tutularak tekrar edilmiştir.
2. UV-c lamba altında 8 adet beher 200 mL örnek numuneler alınarak pH'lar 3'e ayarlanmıştır.
3. Numunelerin pH değerleri ayarlandıktan sonra UV lamba altında 1. analiz yönteminde olduğu gibi  $H_2O_2$  2000 mg/L sabit olacak şekilde 1. beherden başlanarak 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 125 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L  $Fe^{+2}$  konsantrasyonu sağlanacak şekilde  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  kimyasalından eklenerek foto Fenton prosesinde arıtım işlemi uygulanmıştır.
4. Numuneler UV lamba altında manyetik karıştırıcıda 400 rpm hızlı karıştırma, sonrasında 90 rpm yavaş karıştırma işlemi yapılmıştır. Toplam reaksiyon süresi 45 dakika olarak ayarlanmıştır.
5. Numunelerin çökelek oluşturması için 1M NaOH çözeltisi eklenerek numunelerin pH değerleri 7,5-8 aralığına yükseltilmiştir. Numuneler arıtımlarının gözlenmesi için beklemeye alınmıştır.
6. Tüm numunelerin çökelek oluşturmasının ardından üzerinden 2'şer mL numune alınmış olup her numune için 3 tekrarlı olmak üzere KOİ ölçümleri yapılmıştır.

#### **5.5.2. Foto-Fenton prosesine göre optimum $H_2O_2$ dozajının belirlenmesi**

UV lamba altında  $H_2O_2$  değerleri değişken olup,  $Fe^{+2}$  300 mg/L'de sabit tutularak yapılmıştır.

1. UV lamba altında 8 adet behere 200 mL örnek numuneler alınarak pH'lar 3'e ayarlanmıştır.
2. Numunelerin pH değerleri ayarlandıktan sonra UV-c lamba altında  $Fe^{+2}$  sabit olacak şekilde 1. beherden başlanarak 3000 mg/L, 2500 mg/L, 2000 mg/L, 1500 mg/L, 1250 mg/L, 1000 mg/L, 750 mg/L, 500 mg/L  $H_2O_2$  eklenerek Foto Fenton prosesinde arıtım işlemi uygulanmıştır.
3. Numuneler UV lamba altında manyetik karıştırıcıda 400 rpm hızlı karıştırma, sonrasında 90 rpm yavaş karıştırma işlemi yapılmıştır. Toplam reaksiyon süresi 45 dakika olarak ayarlanmıştır.
4. Numunelerin çökelek oluşturması için 1M NaOH çözeltisi eklenerek numunelerin pH değerleri 7,5-8 aralığına yükseltilmiştir. Numuneler arıtımlarının gözlenmesi için beklemeye alınmıştır.
5. Tüm numunelerin çökelek oluşturmasının ardından üzerinden 2'şer mL numune alınmış olup her numune için 3 tekrarlı olmak üzere KOİ ölçümleri yapılmıştır.

### 5.5.3. Foto-Fenton prosesine göre optimum arıtım süresinin belirlenmesi

Belirlenen optimum değerler sabit tutularak UV lamba altında arıtımın uygulama sürelerine göre en iyi giderimin sonuçları kontrol edilmiştir.

1. Örnek numuneden 1000 mL alınarak 3M  $H_2SO_4$  çözeltisiyle  $Fe^{+2}$  ve  $H_2O_2$  optimum değerler olarak ultraviyole lamba altında foto Fenton prosesi uygulandı. 400 rpm hızlı karıştırmada UV lamba altında 5 dakika manyetik karıştırıcıda karışım yapılmıştır.
2. UV lamba altında 90 rpm 60 dakikada yavaş karıştırmaya alınan örnek numuneye sırayla 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60 dakikalarda 100 mL' lik erlenlere numuneler alınmıştır.
3. Numunelerin çökelek oluşturması için 1M NaOH çözeltisi eklenerek pH'ları 8'e yükseltilmiştir. En iyi çökeltmenin gözlenmesi ve arıtımın takibi için numuneler 2 saat çökelmeye bırakılmıştır.
4. Tüm numunelerin çökelek oluşturmasının ardından üzerinden 2'şer mL numune alınmış olup her numune için 3 tekrarlı olmak üzere KOİ ölçümleri yapılmıştır.

## 5.6. Foto-Fenton Prosesine Göre UV-c Işık Yoğunluğunun Etkisi

Yapılan çalışmalar sonucunda numuneler alınmış olup, belirlenen optimum değerlerde UV-c lamba altında 16 watt, 24 watt, 32 watt, 40 watt, 48 watt, 64 watt değerlerinde ışık yoğunluğunun etkisi değerlendirilmiştir.

## 5.7. Kimyasal Sarfiyatının Minimizasyonuna Yönelik Ek Çalışmalar

Foto-Fentonda yapılan çalışmalar neticesinde  $Fe^{+2}$  optimizasyonu deneyinde arıtım verimi açısından  $Fe^{+2}$  değerleri birbirine yakın değerlerde çıkmış olup kimyasal sarfiyatı açısından  $H_2O_2$  değerleri değişken olup ek çalışmalar yapılmıştır.

1. UV lamba altında 12 adet behere 200 mL örnek numuneler alınarak pH'lar 3'e ayarlanmıştır.
2. Numunelerin pH değerleri ayarlandıktan sonra UV lamba altında  $Fe^{+2}$  100 mg/L sabit olacak şekilde 1. beherden başlanarak 100 mg/L, 125 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 250 mg/L, 300 mg/L, 350 mg/L, 400 mg/L, 450 mg/L, 500 mg/L, 750 mg/L, 1000 mg/L  $H_2O_2$  konsantrasyonlarında Foto fenton prosesinde arıtım işlemi uygulanmıştır.
3. Numuneler UV lamba altında manyetik karıştırıcıda 400 rpm hızlı karıştırma, sonrasında 90 rpm yavaş karıştırma işlemi yapılmıştır. Toplam reaksiyon süresi 45 dakika olarak ayarlanmıştır.
4. Numunelerin çökelek oluşturması için 1M NaOH çözeltisi eklenerek numunelerin pH değerleri 7,5-8 aralığına yükseltilmiştir. Numuneler arıtımlarının gözlenmesi için beklemeye alınmıştır.
5. Tüm numunelerin çökelek oluşturmasının ardından üzerinden 2'şer mL numune alınmış olup her numune için 3 tekrarlı olmak üzere KOİ ölçümleri yapılmıştır.
6. Yukardaki yapılan çalışmaların aynısı 12 adet 200 mL örnek numune için 125 mg/L  $Fe^{+2}$  sabit değerinde,  $H_2O_2$  değerleri 1. beherden başlanarak 100 mg/L, 125 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 250 mg/L, 300 mg/L, 350 mg/L, 400 mg/L, 450 mg/L, 500 mg/L, 750 mg/L, 1000 mg/L  $H_2O_2$  konsantrasyonlarında foto Fenton prosesinde arıtım işlemi uygulanmıştır.

## BÖLÜM 6

### BULGULAR

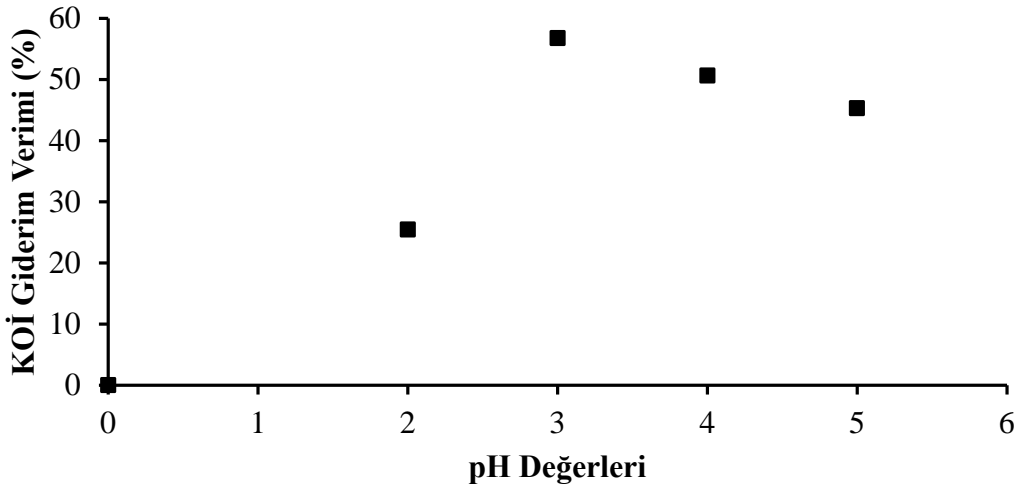
#### 6.1. Klasik Fenton Prosesi

##### 6.1.1. Klasik Fenton prosesinde yapılan pH optimizasyon deneyleri

Oda sıcaklığı  $23\pm 2$  °C’de ham atıksuyun pH değeri 6.9 olup 2, 3, 4, 5 pH’larda 2000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve 300 mg/L Fe<sup>+2</sup>,de deneyler yürütülmüştür. Analiz sonuçları Tablo 6.1’de ve Şekil 6.1’de Klasik Fenton prosesinde pH değerlerine karşı yüzde KOİ giderim verimi grafiği verilmiştir.

Tablo 6.1. pH değerleri

Numunenin Adı	pH Değerleri	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
Ham atıksu	6.9	4671	-
D1	2	3481	25
D2	3	2018	57
D3	4	2305	51
D4	5	2554	45



Şekil 6.1. Klasik Fenton prosesinde KOİ giderim verimi üzerine pH’ın etkisi

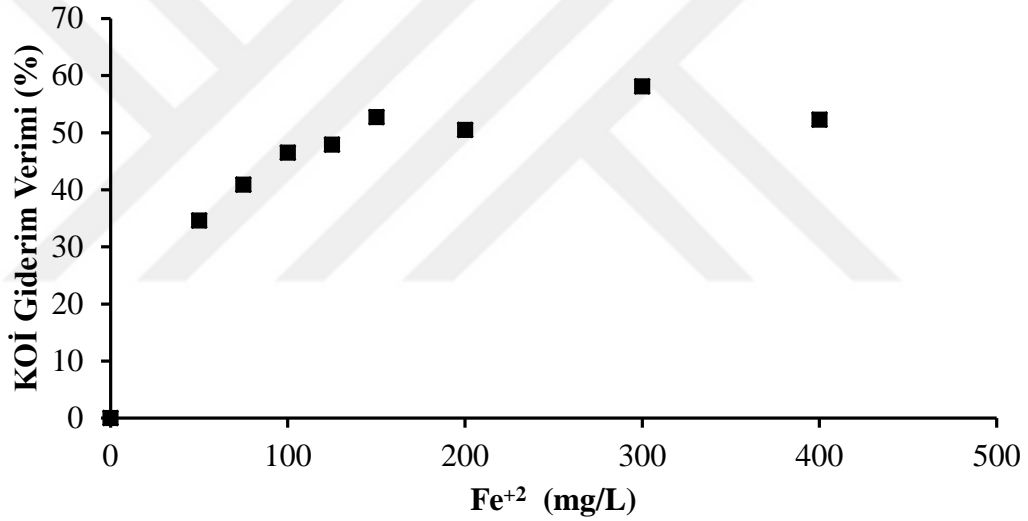
##### 6.1.2. Klasik Fenton prosesinde Fe<sup>+2</sup> dozajının etkisi

1. Analiz yöntemine göre: 2000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pH 3,  $23\pm 2$ °C sabit değerde, toplamda 8 adet 200 mL numune için sırasıyla 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 125 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L ve 400 mg/L Fe<sup>+2</sup> konsantrasyonu sağlanacak şekilde FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O

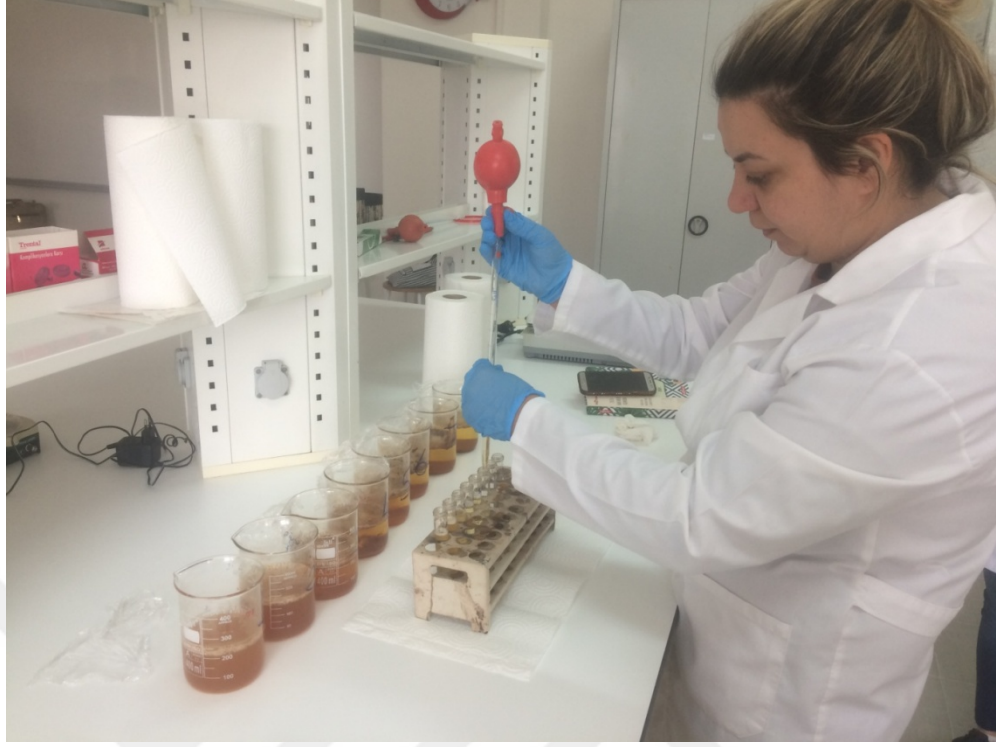
kimyasalından eklenerek çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmanın görseli Resim 6.1 ve 6.2’de, analiz sonuçları Tablo 6.2’de grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. Klasik Fentonda  $Fe^{+2}$  optimizasyonu verileri

Numune Adı	$H_2O_2$ (mg/L)	$Fe^{+2}$ (mg/L)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	2000	50	3055	35
N2	2000	75	2762	41
N3	2000	100	2501	46
N4	2000	125	2435	48
N5	2000	150	2209	53
N6	2000	200	2315	50
N7	2000	300	1957	58
N8	2000	400	2231	52



Şekil 6.2. Klasik Fenton prosesinde  $Fe^{+2}$  optimizasyonuna karşı KOİ giderim verimi



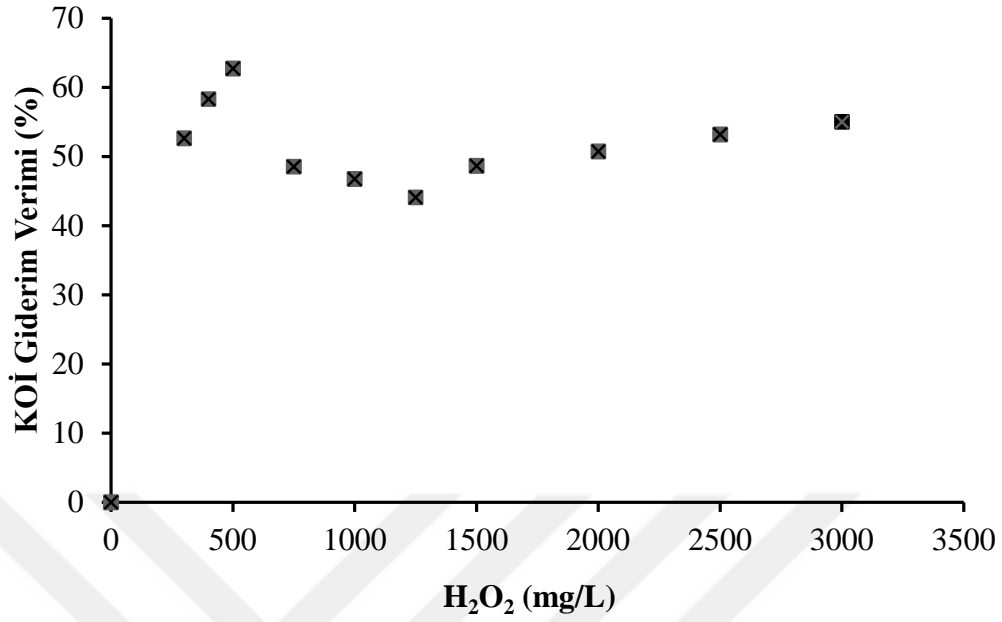
Resim 6.1. KOİ deneyi

### 6.1.3. Klasik Fenton prosesinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozajının etkisi

2. Analiz yöntemine göre: 300 mg/L Fe<sup>+2</sup>, pH 3, 23±2 °C sabit değerde, toplamda 10 adet 200 mL numune için 3000 mg/L, 2500 mg/L, 2000 mg/L, 1500 mg/L, 1250 mg/L, 1000 mg/L, 750 mg/L, 500 mg/L, 400 mg/L ve 300 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında çalışma yapılmıştır. KOİ analiz sonuçları Tablo 6.3’de KOİ giderim verimi grafiği Şekil 6.3’te verilmiştir.

Tablo 6.3. Klasik Fenton prosesine göre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> optimizasyonu analiz sonuçları

Numune Adı	Fe <sup>+2</sup> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	300	3000	2076	55
N2	300	2500	2187	53
N3	300	2000	2302	51
N4	300	1500	2399	49
N5	300	1250	2612	44
N6	300	1000	2488	47
N7	300	750	2404	49
N8	300	500	1744	63
N9	300	400	1948	58
N10	300	300	2214	53



Şekil 6.3. Klasik Fenton prosesinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> optimizasyonuna karşı KOİ giderim verimi

#### 6.1.4. Klasik Fenton prosesinde optimum arıtım süresinin belirlenmesi

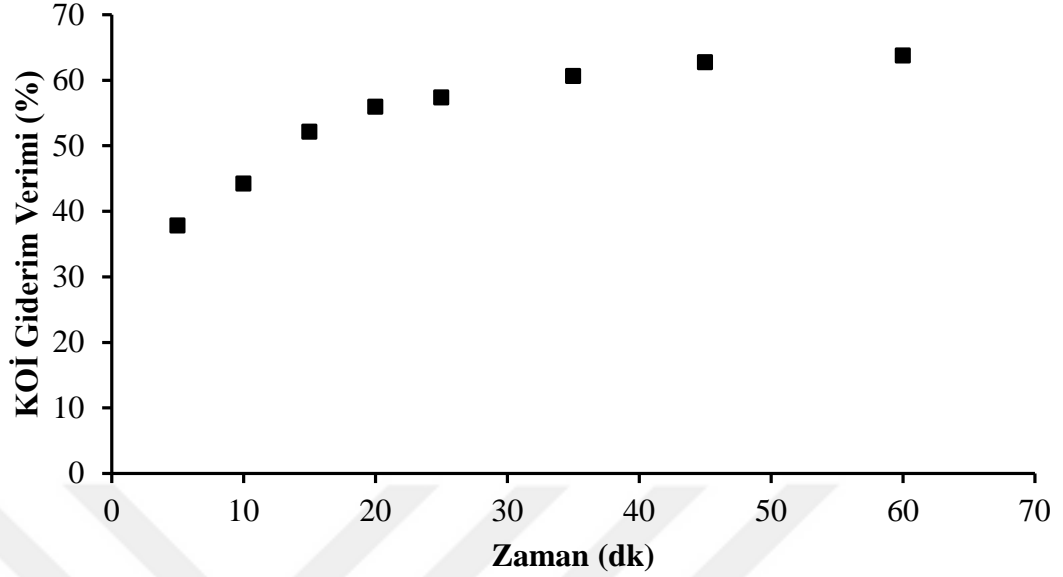
300 mg/L Fe<sup>+2</sup>/500 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oranında, pH 3, 23±2 °C sabit değerlerde 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, ve 60. dakikalarda en iyi giderim süreleri çalışılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.4'te verilmiştir. Grafik Şekil 6.4'te ve kinetik grafikleri 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8'de verilmiştir.

Tablo 6.4. Klasik Fentonda zamana bağlı KOİ konsantrasyon değişimleri

Numune Adı	Zaman(dk)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	5	2904	38
N2	10	2605	44
N3	15	2235	52
N4	20	2057	56
N5	25	1992	57
N6	35	1838	61
N7	45	1741	63
N8	60	1693	64

300 mg/L Fe<sup>+2</sup>/500 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oranında klasik Fenton için 45 dakikalık sürede arıtımın dengeye ulaştığı (Tablo 6.4) gözlemlendiği için etkin temas süresi 45 dk. olarak belirlenmiştir.





Şekil 6.4. Klasik Fenton prosesinde zamana bağlı KOİ giderim verimi

Gösterilen BMG kinetik model Behnajady–Modirshahla–Ghanbery (BMG) tarafından geliştirilmiştir. Son yıllarda Fenton ve Fenton benzeri oksidasyon proseslerinde kinetik verilerin tespitinde başarıyla uygulanmış matematik modeldir [72]. Oksidasyon çalışmalarında uygulanabilen Behnajady-Modirshahla-Ghanbery (BMG) kinetik modeline ait eşitlikler verilmiştir. Diğer kinetik modellere ait sıfırncı, birinci ikinci derece eşitliklerde aşağıda verilmiştir:

0. derece kinetik modele ait eşitlik [73];

$$C_t - C_0 = -k_0t$$

şeklindedir.

$(C_t - C_0)$ 'ye karşılık  $t$  grafiğe aktarılmasıyla  $k_0$ , 0. derece hız sabiti elde edilir.

1. derece kinetik modeli [74];

$$\ln C_t/C_0 = -k_1t$$

İle ifade edilir.  $\ln C_t/C_0$  'ye karşılık  $t$ 'nin grafikteki değeriyle  $k_1$  hız sabiti bulunur.

1. derece kinetik modeli [73];

$$1/C_t - 1/C_0 = k_2t$$

şeklindedir.

$(1/Ct - 1/C0)$ 'ye karşılık  $t$ 'nin grafikteki değeriyle  $k_2$  ikinci derece hız sabiti elde edilir.

BMG kinetik modelinin matematiksel hali [72];

$$t/(1 - Ct/C0) = m + bt$$

şeklindedir.

$t$  değerine karşılık  $(t/(1 - Ct/C0))$  değerlerine göre çizilen doğrunun eğimi ve kesişim noktası  $b$  ve  $m$  sabit değerlerini verir.

Kinetik eşitliklerdeki;

$Ct$  : Kirletici konsantrasyonunu (mg/L),

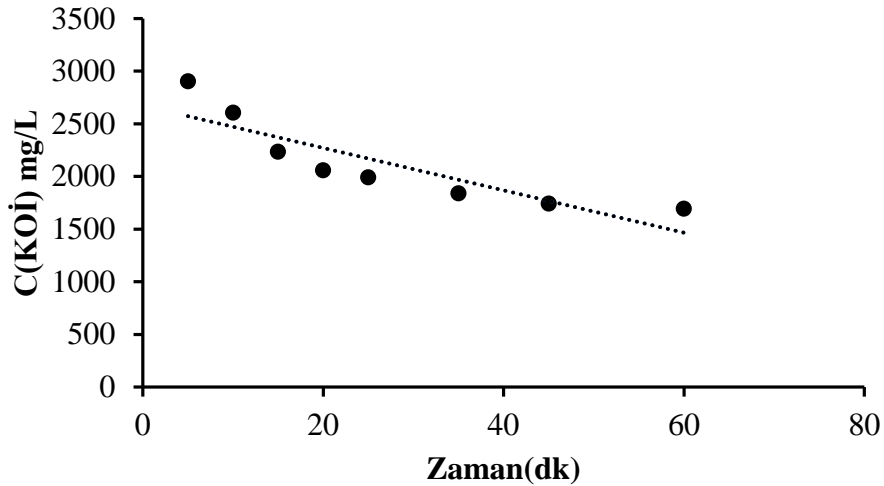
$C0$ : Başlangıçtaki kirletici konsantrasyonun değerini (mg/L),

$k_0, k_1$  ve  $k_2$  : 0., 1. ve 2. derece hız sabitlerini,

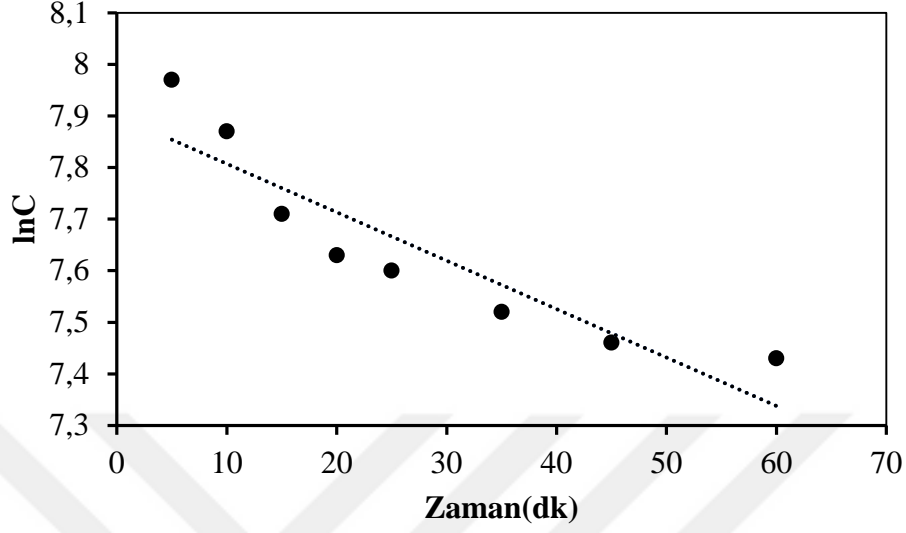
$t$  : Zamanı,

$m$  ve  $b$  : Oksidasyon kapasitesini ve reaksiyon kinetiğiyle ilgili sabitleri ifade eder.

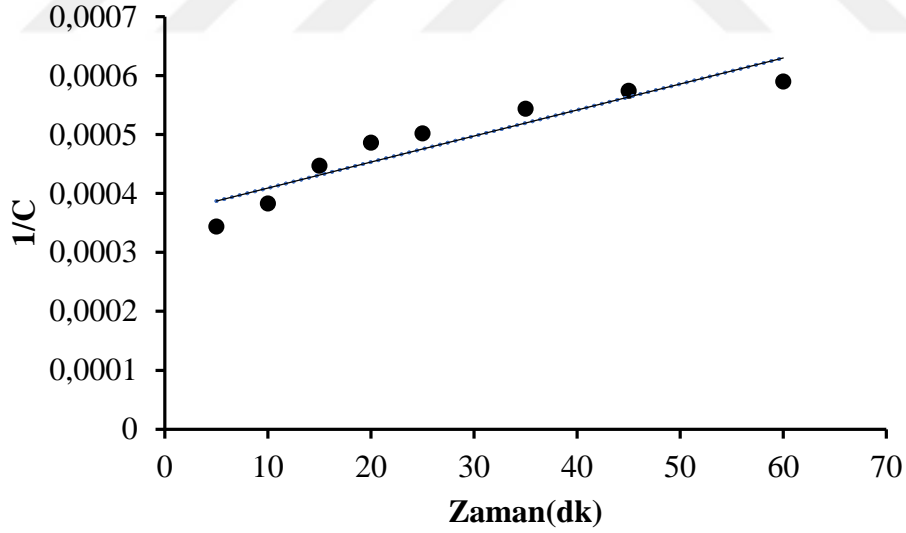
Çalışmalarımızda Fenton reaksiyonlarının kinetiği üzerine ilave çalışmalar yapılmış olup 0.derece, 1.derece, 2.derece ve BMG kinetik modelleri çalışılmıştır. Bu bağlamda klasik Fenton prosesinin mekanizmasının anlaşılabilmesi için oluşturulan kinetik model grafikleri Şekil 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8'de verilmiştir.



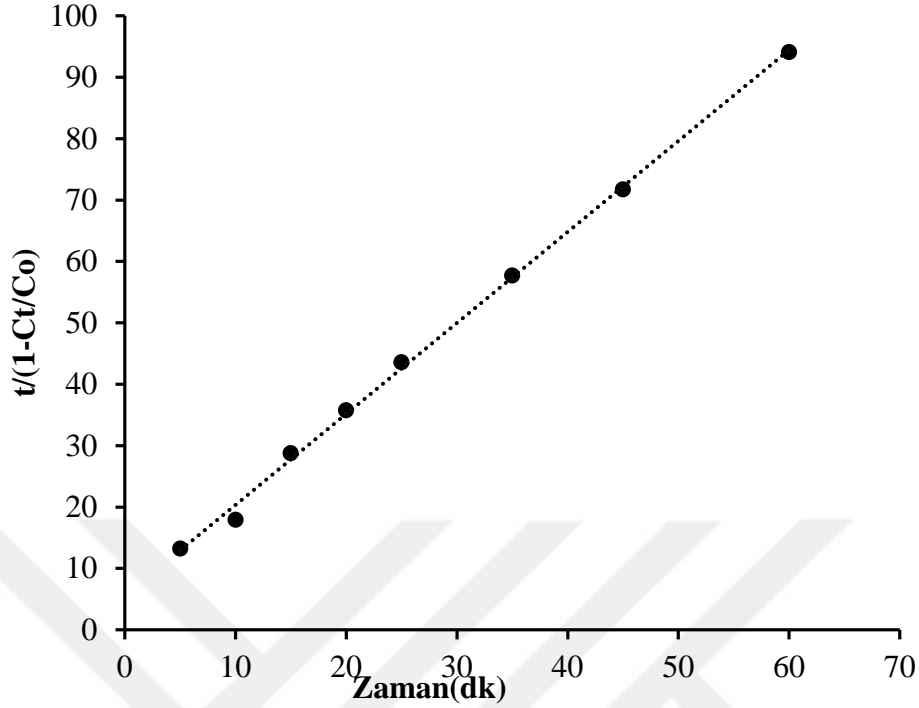
Şekil 6.5. Klasik Fentonda 300 mg/L Fe<sup>+2</sup>/500 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de 0. derece kinetik modeli



Şekil 6.6. Klasik Fentonda 300 mg/L Fe<sup>+2</sup>/500 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de 1. derece kinetik modeli



Şekil 6.7. Klasik Fentonda 300 mg/L Fe<sup>+2</sup>/500 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de 2. derece kinetik modeli



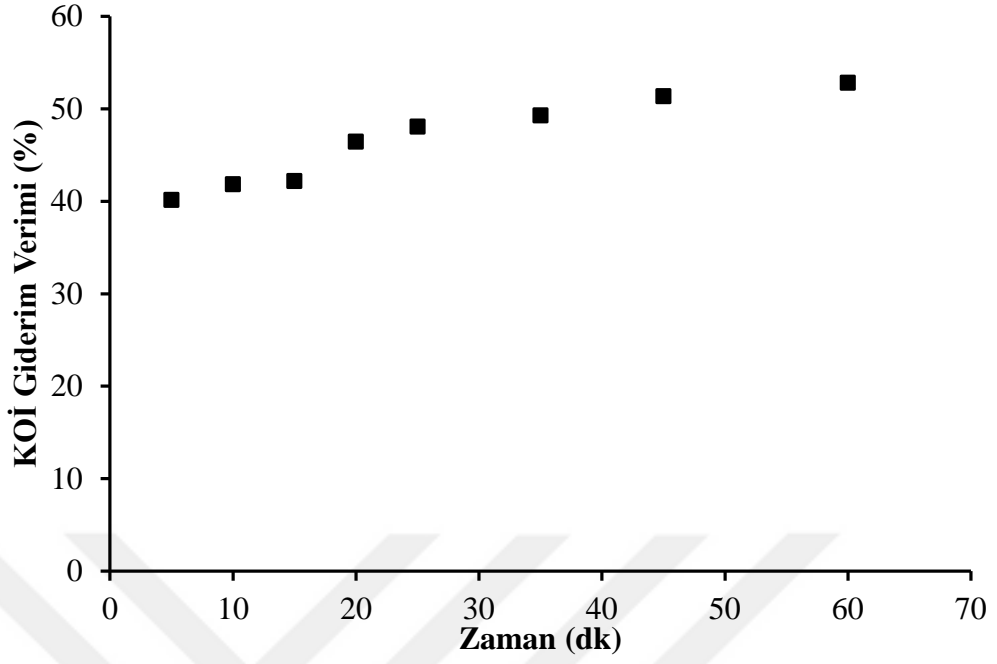
Şekil 6.8. Klasik Fentonda 300 mg/L Fe<sup>+2</sup>/500 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de BMG kinetik modeli

Klasik Fenton prosesinde; 300 mg/L Fe<sup>+2</sup> /1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oranında, pH 3 ve 23±2 °C sabit deneysel koşullarda 5., 10., 15., 20., 25., 35., 45. ve 60. dakikalarda en iyi giderimi sağlayacak etkin artıma süreleri çalışılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.5'de verilmiştir.

Tablo 6.5. Klasik Fentonda zamana bağlı KOİ konsantrasyon değişimleri

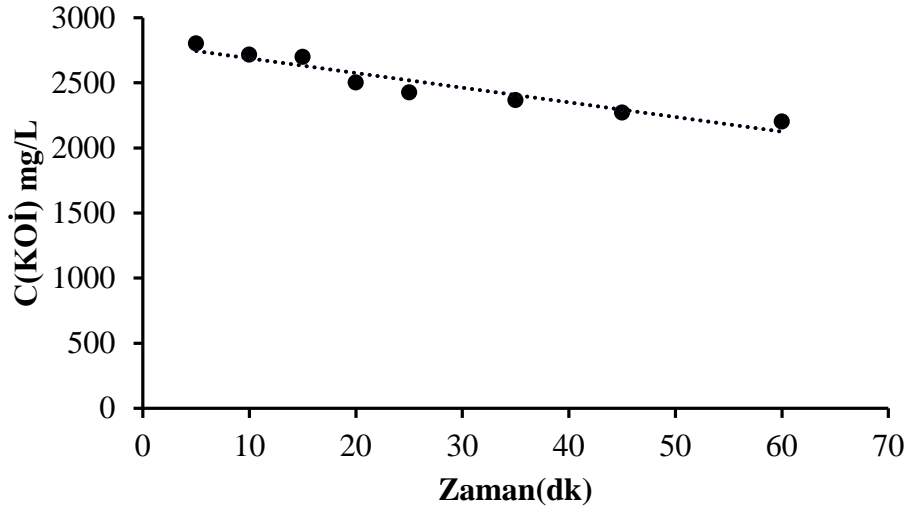
Numune Adı	Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	5	2802	40
N2	10	2715	42
N3	15	2700	42
N4	20	2502	46
N5	25	2425	48
N6	35	2368	49
N7	45	2271	51
N8	60	2203	53

300 mg/L Fe<sup>+2</sup> /1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oranında ortaya çıkan etkin temas süresi deneysel sonuçlarına göre (Tablo 6.5) Klasik-Fenton için 45 dk'lık temas süresinde arıtımın dengeye ulaştığı söylenebilir (Şekil 6.9).

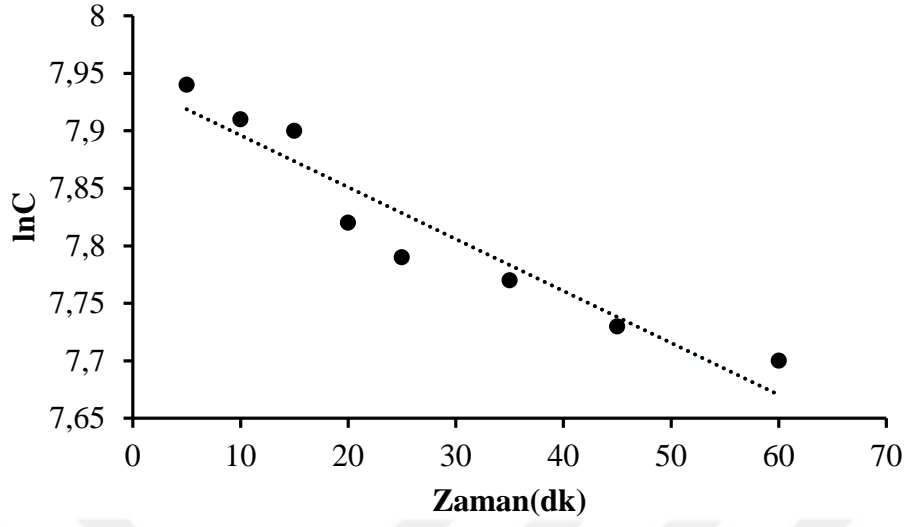


Şekil 6.9. Klasik Fenton prosesinde zamana bağlı KOİ giderim verimi

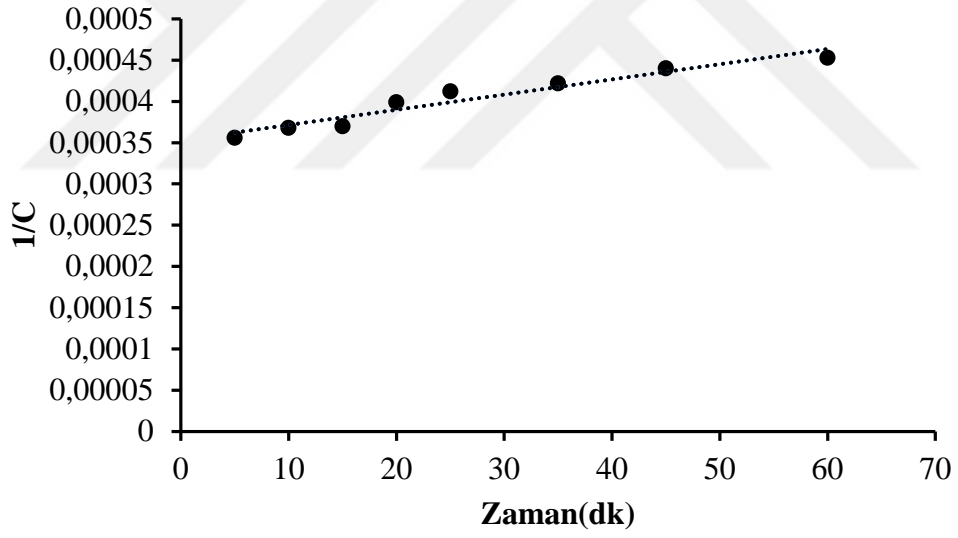
Sıfırıncı, birinci ve ikinci derece kinetik model ve ayrıca BMG model kinetiklerini gösterir grafikler Şekil 6.10, 6.11, 6.12 ve 6.13’de verilmiştir.



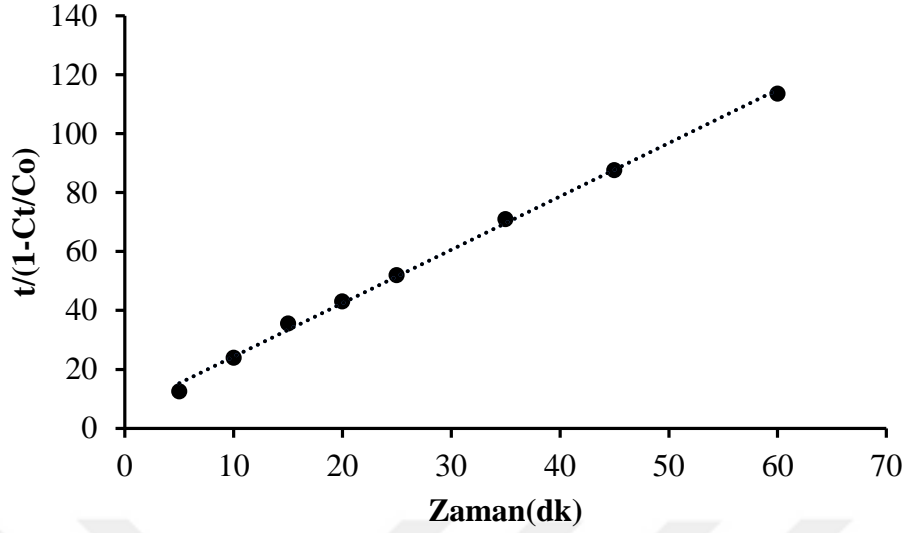
Şekil 6.10. Klasik Fentonda 300 mg/L  $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L  $H_2O_2$ ’de 0. derece kinetik modeli



Şekil 6.11. Klasik Fentonda 300 mg/L  $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L  $H_2O_2$ 'de 1. derece kinetik modeli



Şekil 6.12. Klasik Fentonda 300 mg/L  $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L  $H_2O_2$ 'de 2. derece kinetik modeli



Şekil 6.13. Klasik Fentonda 300 mg/L Fe<sup>+2</sup>/ 1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de BMG kinetik modeli

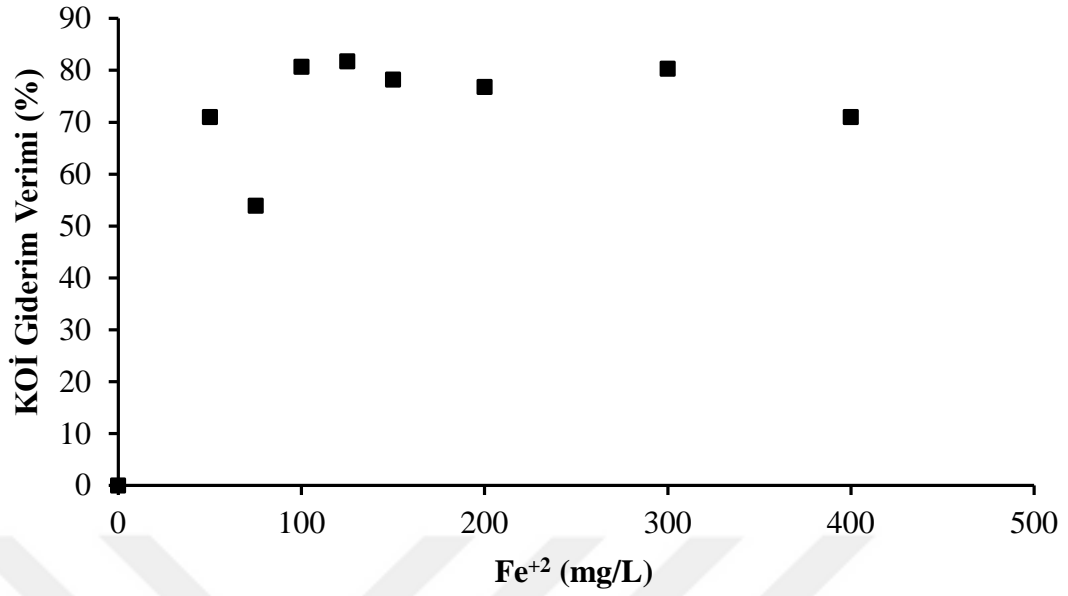
## 6.2. Foto Fenton Optimizasyonu Deneyleri

### 6.2.1. Foto-Fenton prosesinde Fe<sup>+2</sup> dozajının etkisi

4. Analiz yöntemine göre; 2000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pH= 3, 23±2 °C sabit değerinde, toplamda 8 adet 200 mL numune için sırasıyla 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 125 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 300 mg/L ve 400 mg/L Fe<sup>+2</sup> konsantrasyonu sağlanacak şekilde FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O eklenerek çalışma yapılmıştır. KOİ analiz sonuçları Tablo 6.8'de grafiği Şekil 6.14'de verilmiştir.

Tablo 6.6. Foto-Fenton prosesine göre Fe<sup>+2</sup> optimizasyonu verileri

Numune Adı	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	Fe <sup>+2</sup> (mg/L)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	2000	50	1355	71
N2	2000	75	2152	54
N3	2000	100	903	81
N4	2000	125	854	82
N5	2000	150	1018	78
N6	2000	200	1085	77
N7	2000	300	921	80
N8	2000	400	1355	71



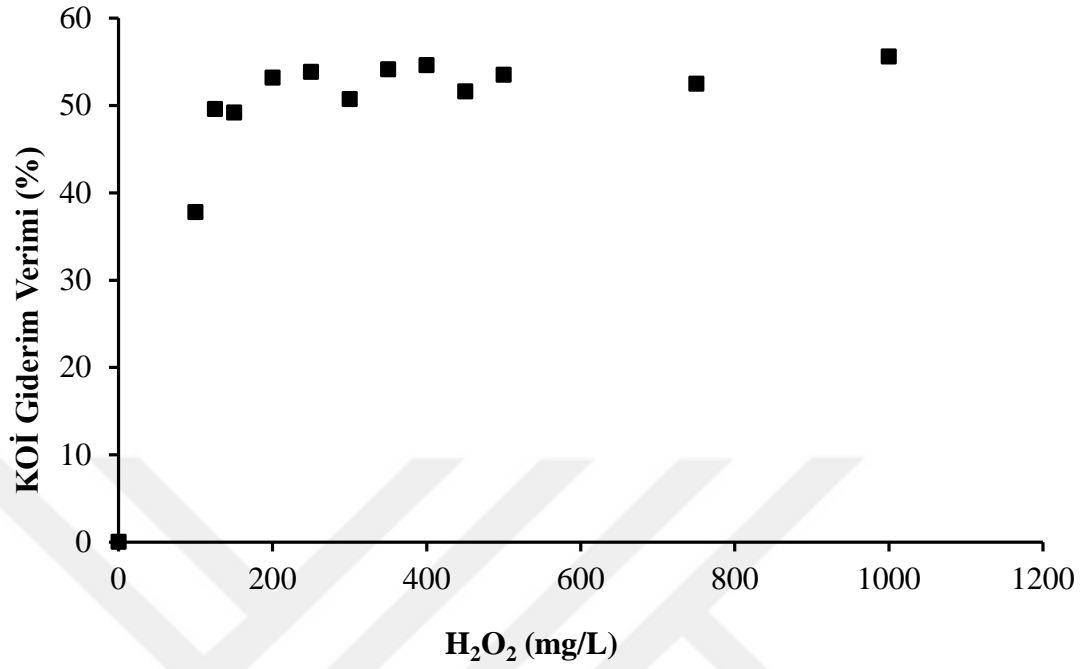
Şekil 6.14. Foto-Fenton prosesinde farklı Fe<sup>+2</sup> konsantrasyonlarında KOİ giderim verimi

Foto-Fenton prosesinde 100mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 125 mg/L Fe<sup>+2</sup> artırım verimleri birbirine yakın değerde bulunmuştur. Bulunan bu değerler neticesinde her iki deney içinde ayrı ayrı 12 adet 200 mL örnek numune alınmıştır. Alınan numunelerde 100 mg/L Fe<sup>+2</sup> sabit tutularak H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerleri değişken olarak ve 125 mg/L Fe<sup>+2</sup> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değişken olarak UV lamba altında foto-Fenton prosesi uygulanarak ek deneyler yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonuçları 100 mg/L Fe<sup>+2</sup> için Tablo 6.7 'de grafikler Şekil 6.15'tedir. 125 mg/L Fe<sup>+2</sup> için analiz sonuçları Tablo 6.8'de, grafikler Şekil 6.16'dadır. Karşılaştırmalı grafik görselide Şekil 6.17'tedir.

Tablo 6.7. Foto-Fenton prosesinde 100 mg/L Fe<sup>+2</sup>, de KOİ verileri

Numune Adı	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	Fe <sup>+2</sup> (mg/L)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	100	100	3107	33
N2	125	100	2557	45
N3	150	100	2503	46
N4	200	100	2487	47
N5	250	100	2406	49
N6	300	100	2385	49
N7	350	100	2293	51
N8	400	100	2207	53
N9	450	100	2197	53
N10	500	100	2291	51
N11	750	100	2200	53
N12	1000	100	2110	55

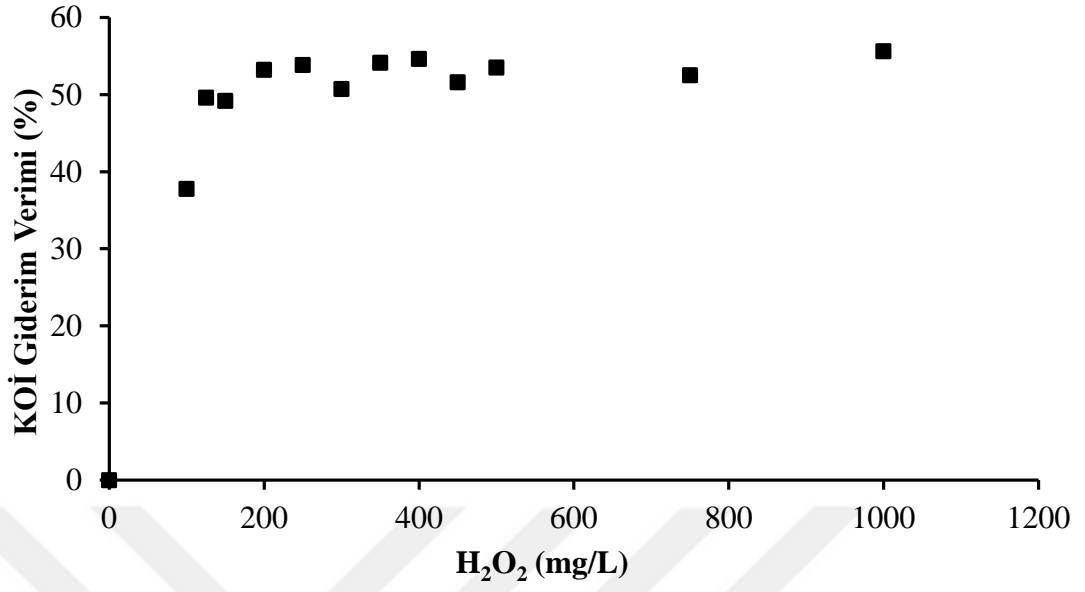




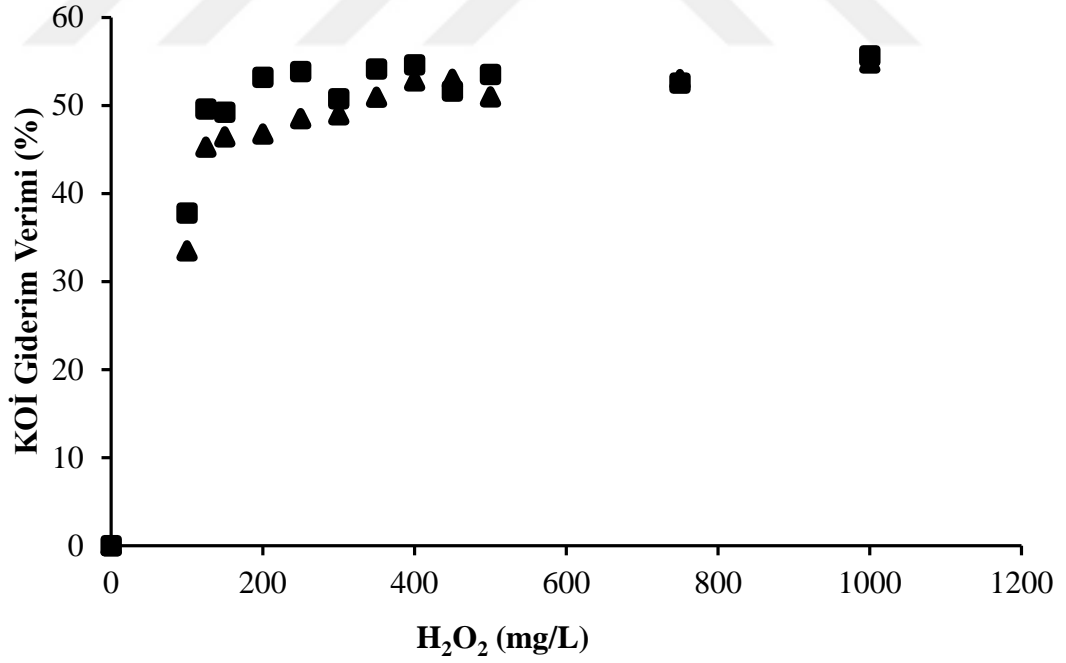
Şekil 6.15. Foto-Fenton prosesinde KOİ giderim verimi (100mg/L Fe<sup>+2</sup> sbt)

Tablo 6.8. Foto-Fenton prosesinde KOİ verileri (125 mg/L Fe<sup>+2</sup> sbt)

Numune Adı	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)	Fe <sup>+2</sup> (mg/L)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	100	125	2907	38
N2	125	125	2355	50
N3	150	125	2373	49
N4	200	125	2187	53
N5	250	125	2156	54
N6	300	125	2301	51
N7	350	125	2143	54
N8	400	125	2121	55
N9	450	125	2262	52
N10	500	125	2188	54
N11	750	125	2218	53
N12	1000	125	2073	56



Şekil 6.16. Foto-Fenton prosesinde KOİ giderim verimi (125 mg/L Fe<sup>+2</sup> sbt)



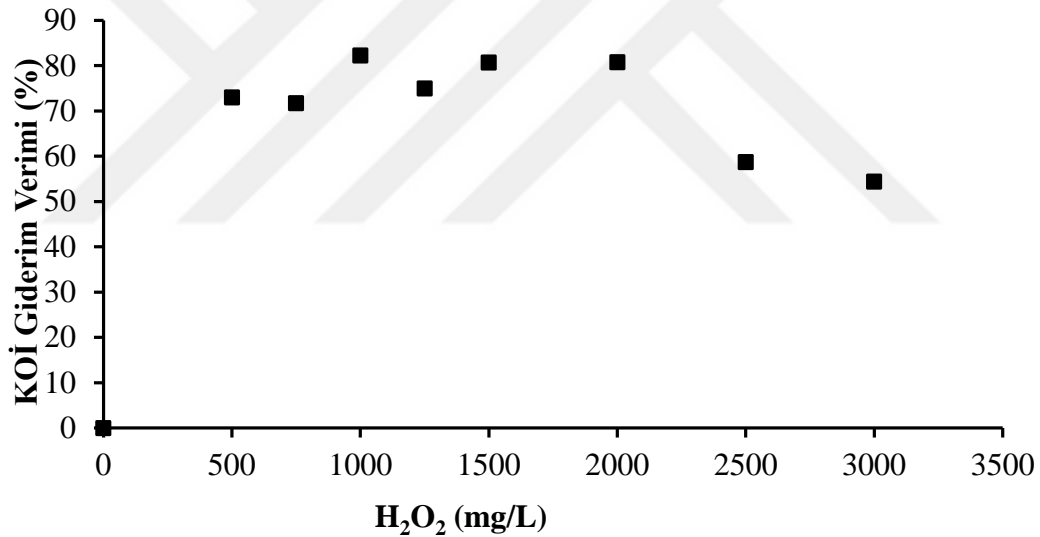
Şekil 6.17. 100 mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 125 mg/L Fe<sup>+2</sup> dozlaması için karşılaştırmalı KOİ giderim verimi grafiği

### 6.2.2. Foto-Fenton prosesinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozajının etkisi

5. Analiz yöntemine göre; 300 mg/L  $Fe^{+2}$ , pH= 3,  $23\pm 2$  °C sabit değerde, toplamda 8 adet 200 mL numune için sırasıyla 500 mg/L, 750 mg/L, 1000 mg/L, 1250 mg/L, 1500 mg/L, 2000 mg/L, 2500 mg/L ve 3000 mg/L  $H_2O_2$  konsantrasyonlarında çalışma yapılmıştır. KOİ analiz sonuçları Tablo 6.9 grafiği Şekil 6.18’de verilmiştir.

Tablo 6.9. Foto-Fenton prosesine göre  $H_2O_2$  optimizasyonu verileri

Numune Adı	$H_2O_2$ (mg/L)	$Fe^{+2}$ (mg/L)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	500	300	1260	73
N2	750	300	1320	72
N3	1000	300	828	82
N4	1250	300	1170	75
N5	1500	300	901	81
N6	2000	300	898	81
N7	2500	300	1927	59
N8	3000	300	2130	54



Şekil 6.18. Foto-Fenton prosesinde farklı  $H_2O_2$  konsantrasyonlarında KOİ giderim verimi ( $Fe^{+2}$  300 mg/L sbt)

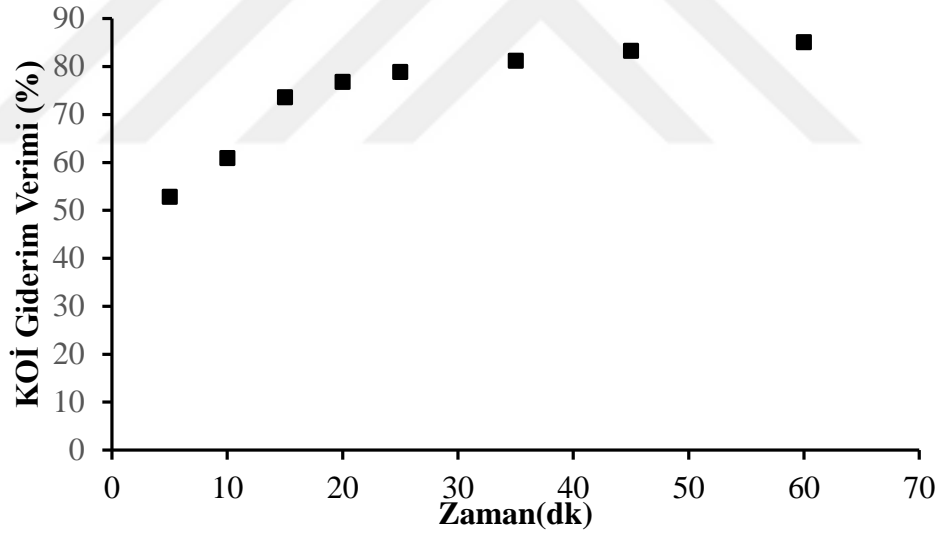
### 6.2.3. Foto Fenton prosesinde optimum arıtım süresinin belirlenmesi

300 mg/L  $Fe^{+2}$ /1000 mg/L  $H_2O_2$  oranında, pH 3,  $23\pm 2$  °C sabit deneysel koşullar altında 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, ve 60. dakikalarda en iyi KOİ giderimini sağlayacak etkin temas süreleri çalışılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.10’de verilmiştir.

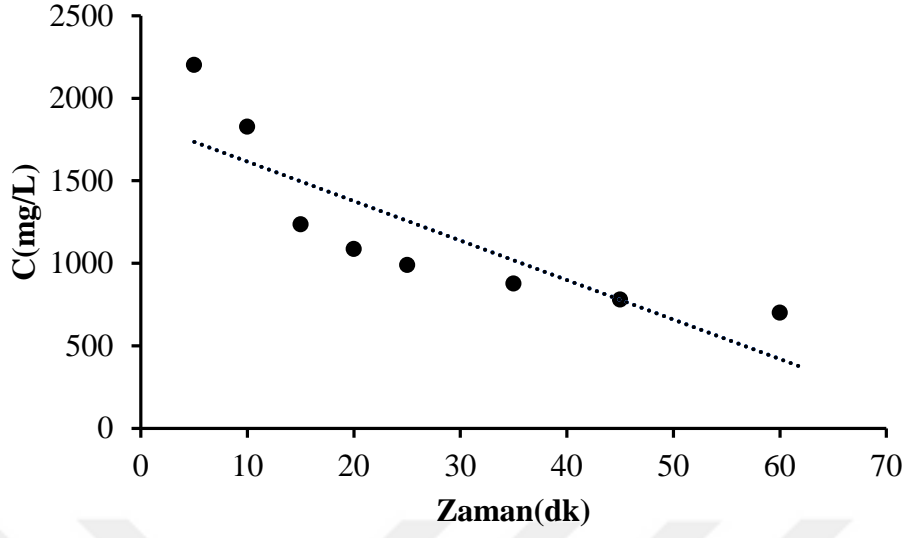
Tablo 6.10. Foto-Fenton prosesinde zamana bağı KOİ konsantrasyon değişimleri

Numune Adı	Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	5	2203	53
N2	10	1827	61
N3	15	1236	74
N4	20	1087	77
N5	25	989	79
N6	35	878	81
N7	45	781	83
N8	60	700	85

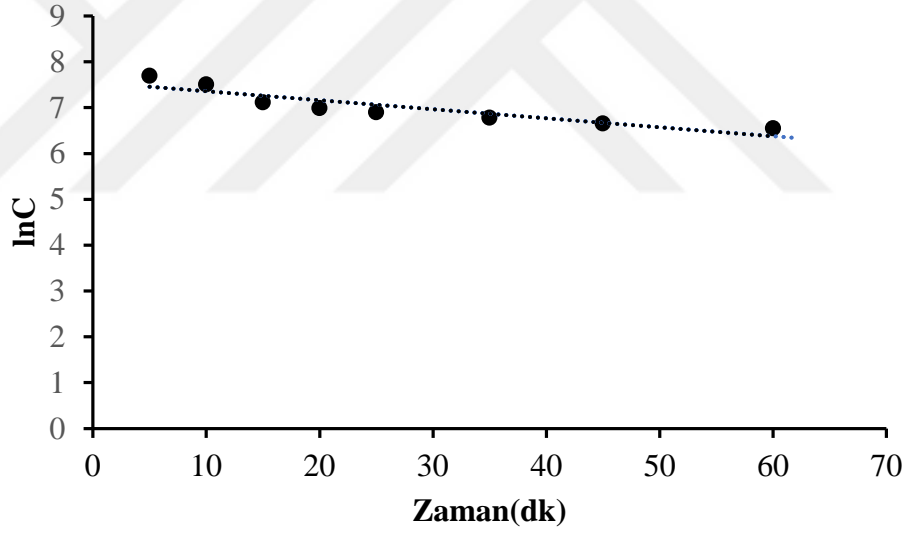
300 mg/L Fe<sup>+2</sup> /1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oranında ortaya çıkan etkin temas süresi deneysel sonuçlarına göre (Tablo 6.10) Foto-Fenton için 35 dk'lık temas süresinde arıtımın dengeye ulaştığı söylenebilir (Şekil 6.19). Foto Fentonda kinetik grafikleri Şekil 6.20, 6.21, 6.22 ve 6.23 'te verilmiştir.



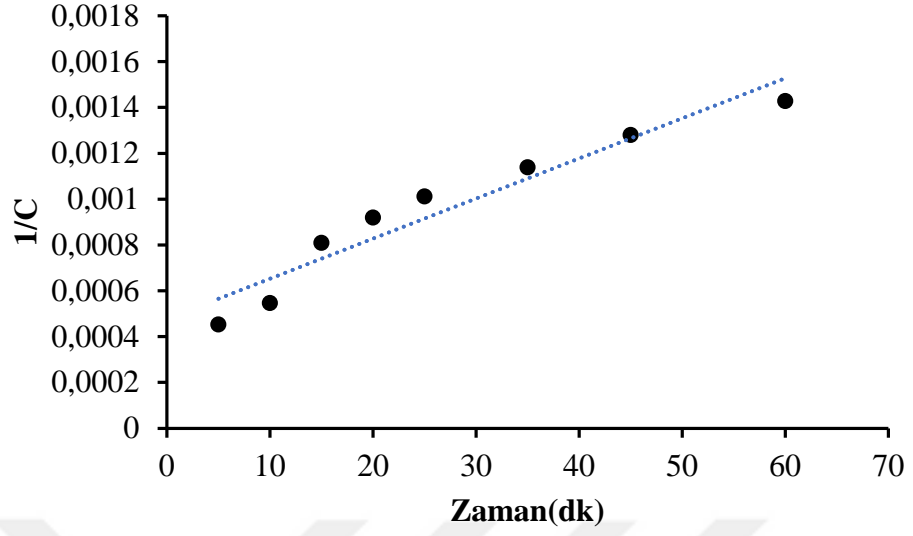
Şekil 6.19. Foto-Fenton prosesinde zamana bağı KOİ giderim verimi



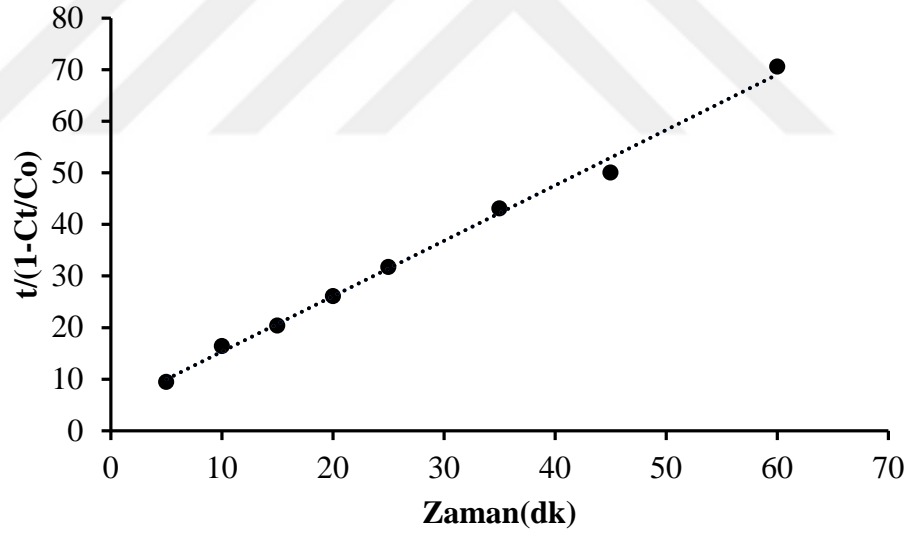
Şekil 6.20. Foto-Fentonda 300 mg/L  $Fe^{+2}$ /1000 mg/L  $H_2O_2$ 'de 0. derece kinetik modeli



Şekil 6.21. Foto Fentonda 300 mg/L  $Fe^{+2}$ /1000 mg/L  $H_2O_2$ 'de 1. derece kinetik modeli



Şekil 6.22. Foto-Fentonda 300 mg/L Fe<sup>2+</sup>/1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de 2. derece kinetik modeli



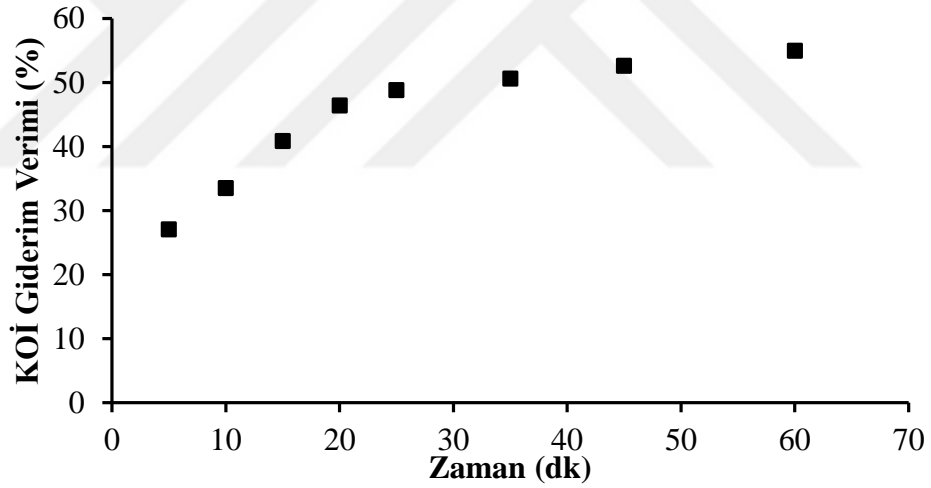
Şekil 6.23. Foto-Fentonda 300 mg/L Fe<sup>2+</sup>/1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de BMG kinetik modeli

Foto-Fenton prosesinde 125 mg/L Fe<sup>2+</sup> /400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pH 3, 23±2 °C sabit değerlerde 5., 10., 15., 20., 25., 35., 45. ve 60. dakikalarda en iyi giderim süreleri çalışılmıştır. Sonuçlar Tablo 6.11’te verilmiştir.

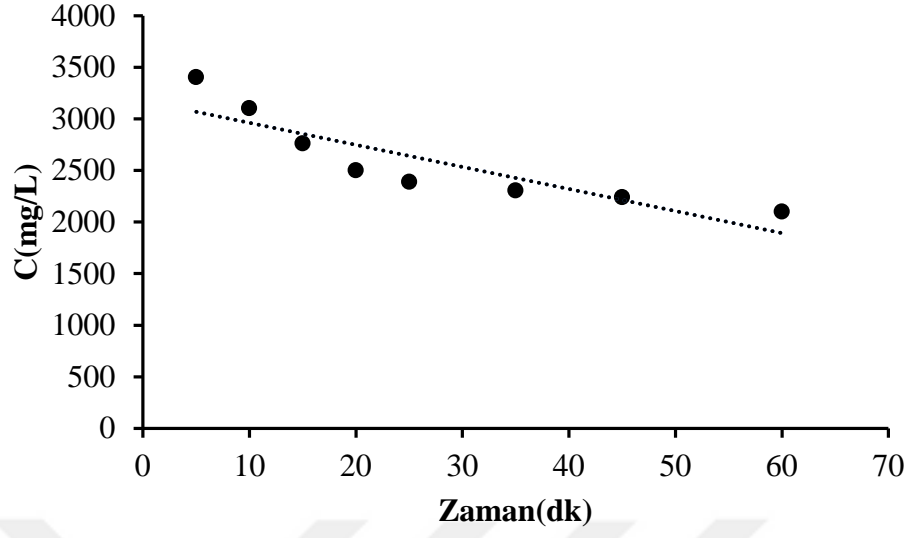
Tablo 6.11. Foto-Fenton prosesinde zamana bağı KOİ konsantrasyon değişimleri

Numune Adı	Zaman (dk)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
N1	5	3406	27
N2	10	3105	34
N3	15	2762	41
N4	20	2501	46
N5	25	2392	49
N6	35	2306	51
N7	45	2241	53
N8	60	2103	55

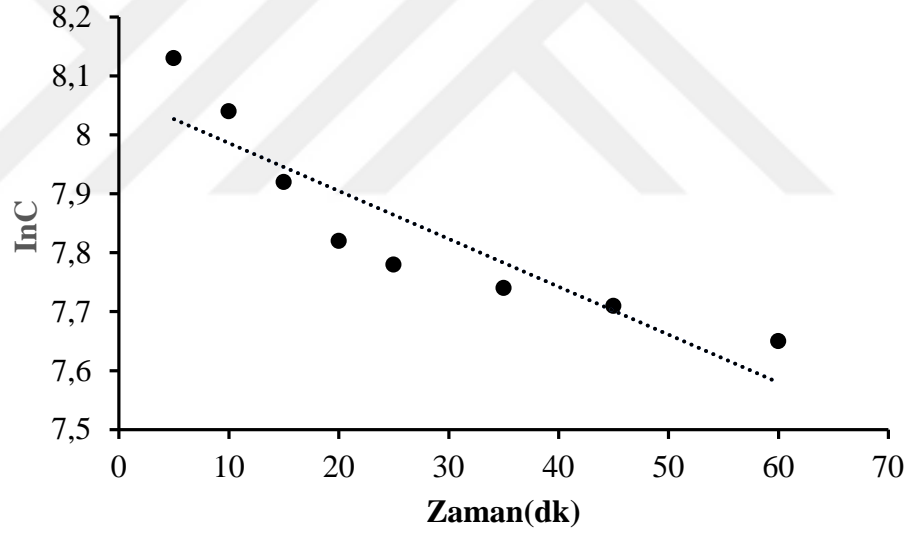
125 mg/L Fe<sup>+2</sup> /400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oranında ortaya çıkan etkin temas süresi deneysel sonuçlarına göre (Tablo 6.11) foto-Fenton için 35 dk'lık temas süresinde arıtımın dengeye ulaştığı söylenebilir (Şekil 6.24). Foto Fenton kinetik çalışmaları grafikleri Şekil 6.25, 6.26, 6.27 ve 6.28'de verilmiştir.



Şekil 6.24. Foto-Fenton prosesinde zamana bağı KOİ giderim verimi

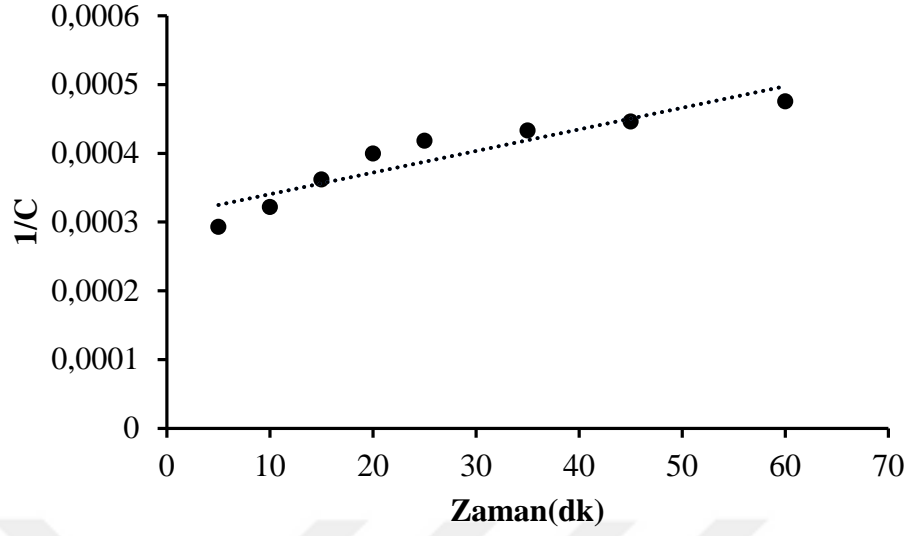


Şekil 6.25. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe<sup>+2</sup> /400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de 0. derece kinetik modeli

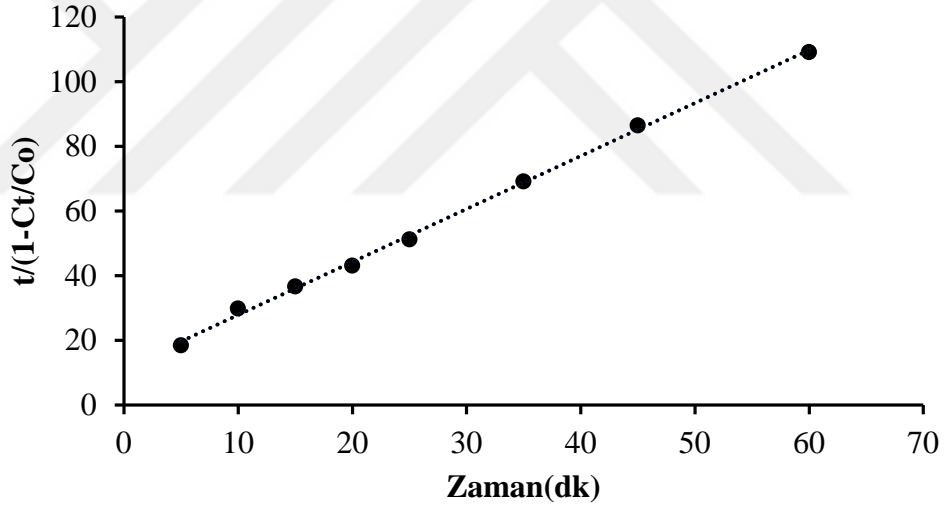


Şekil 6.26. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe<sup>+2</sup> /400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de 1. derece kinetik modeli





Şekil 6.27. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe<sup>+2</sup>/400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de 2. derece kinetik modeli



Şekil 6.28. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe<sup>+2</sup>/400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de BMG kinetik modeli

Yaptığımız analizler neticesinde bulunan değerlere göre çalışmalar sıfırcı, birinci, ikinci ve BMG model kinetikleri uygulanmıştır. Uygulanan modellerden en uygun kinetik modeli BMG model olarak tespit edilmiştir.

Tablo 6.12. Klasik ve foto-Fentonda kinetik modellerin korelasyon katsayıları ve sabitleri

<b>Klasik-Fenton</b> (300 mg/L Fe <sup>+2</sup> /500 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )			<b>Foto-Fenton</b> (300 mg/L Fe <sup>+2</sup> /1000 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )		
0.derece					
$k_0$ (mg L <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$		$k_0$ (mg L <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$	
65.11	0.7725		108.47	0.7055	
1.derece					
$k_1$ (1 dk <sup>-1</sup> )	$R^2$		$k_1$ (1 dk <sup>-1</sup> )	$R^2$	
0.022	0.8344		0.047	0.8272	
2.derece					
$k_2$ (L mg <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$		$k_2$ (L mg <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$	
0.000008	0.8739		0.000026	0.9275	
BMG model					
$m$	$b$	$R^2$	$m$	$b$	$R^2$
5.5217	1.4818	0.9984	4.5886	1.0747	0.9954
<b>Klasik-Fenton</b> (300 mg/L Fe <sup>+2</sup> /1000 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )			<b>Foto-Fenton</b> (125 mg/L Fe <sup>+2</sup> /400 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )		
0.derece					
$k_0$ (mg L <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$		$k_0$ (mg L <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$	
53.33	0.909		67.57	0.7749	
1.derece					
$k_1$ (1 dk <sup>-1</sup> )	$R^2$		$k_1$ (1 dk <sup>-1</sup> )	$R^2$	
0.016	0.9106		0.02	0.8205	
2.derece					
$k_2$ (L mg <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$		$k_2$ (L mg <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$	
0.000005	0.9364		0.000006	0.8641	
BMG model					
$m$	$b$	$R^2$	$m$	$b$	$R^2$
6.1905	1.812	0.9979	11.466	1.6387	0.9984

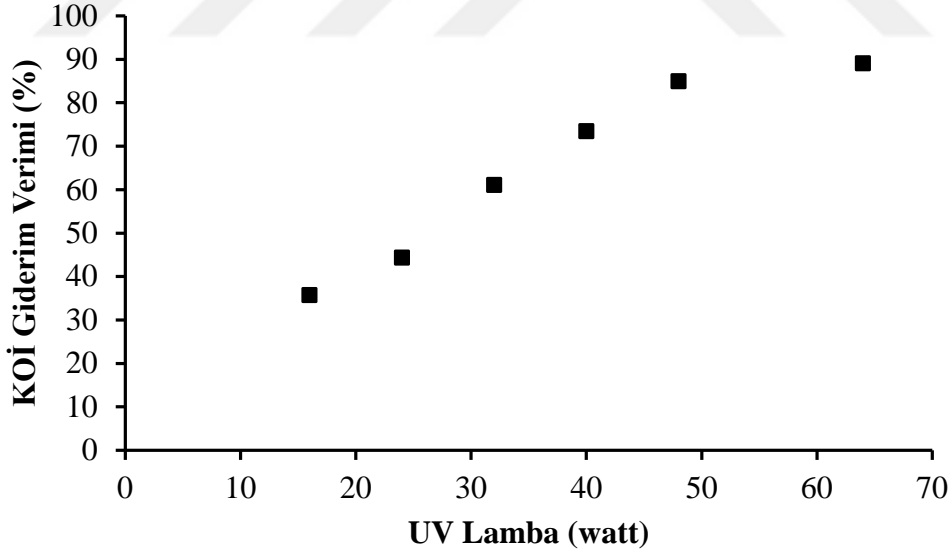
Yaptığımız çalışmalar neticesinde klasik Fenton ve foto Fenton kinetik modellerin korelasyon katsayıları ve modelleri ile oluşturduğumuz tabloya göre; 0. derece, 1.derece, 2.derece ve BMG kinetik modellere ait hesaplamalar yapılarak sabit katsayı değerleri bulunmuştur.  $R^2$  değerlerine bakıldığında en uygun model BMG kinetik model olduğu belirlenmiştir.  $R^2$  değerinin 1'e yakın olması hatanın daha az olduğu kabul edilmektedir.

### 6.3. Foto-Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğu Deneyleri

Foto Fenton prosesinde optimum değerlerde pH= 3, 23±2 °C’de koşullarda 300 mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerlerinde farklı sayıda 254 nm dalga boyunda ultraviyole lamba altında (16 watt, 24 watt, 32 watt, 40 watt, 48 watt ve 64 watt’lık ışık yoğunluğuna sahip) 35 dakikalık etkin temas süresinde analizler yapılmıştır. Veriler Tablo 6.13’da eğilim grafikleri Şekil 6.29 ‘da verilmiştir.

Tablo 6.13. Farklı ışık yoğunluğu altında foto-Fenton arıtma performans verileri (300 mg/L Fe<sup>+2</sup>/ 1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Numune Adı	UV Lamba (watt)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
D1	16	3004	36
D2	24	2601	44
D3	32	1820	61
D4	40	1242	73
D5	48	705	85
D6	64	512	89



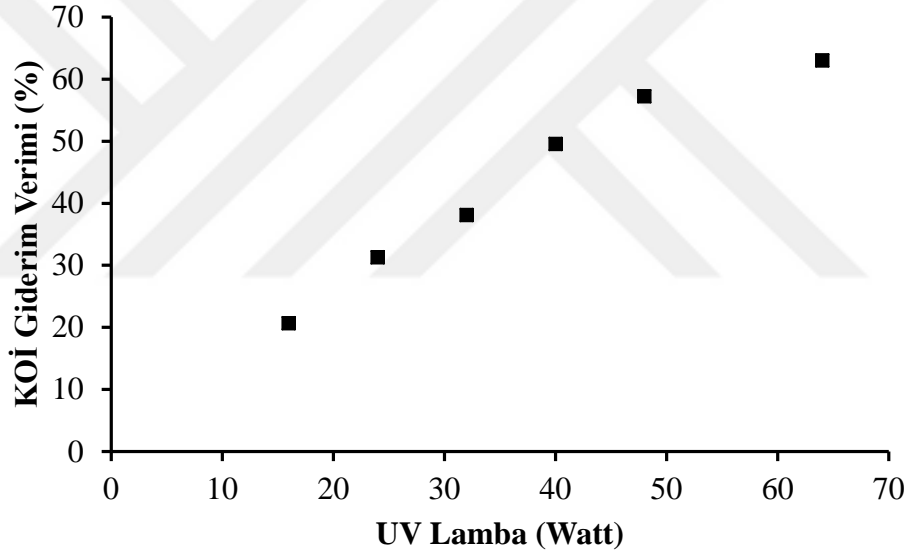
Şekil 6.29. Foto-Fentonda 300 mg/L Fe<sup>+2</sup>/ 1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ışık yoğunluğuna karşı KOİ giderim verimi

Foto-Fenton prosesinde optimum değerlerde pH= 3, 23±2 °C’de koşullarda 125 mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> değerlerinde 254 nm’de ultraviyole lamba altında 16 watt, 24

watt, 32 watt, 40 watt ve 48 watt, 64 watt ışık yoğunluğunda 35 dakikalık etkin temas süresinde analizler yapılmıştır. Veriler Tablo 6.14'te grafikler Şekil 6.30'da verilmiştir.

Tablo 6.14. Farklı ışık yoğunluğu altında foto-Fenton arıtma performans verileri (125 mg/L Fe<sup>+2</sup>/400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Numune Adı	UV Lamba (watt)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderim Verimi (%)
D1	16	3705	21
D2	24	3209	31
D3	32	2890	38
D4	40	2355	50
D5	48	1998	57
D6	64	1728	63



Şekil 6.30. Foto-Fentonda 125 mg/L Fe<sup>+2</sup>/ 400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ışık yoğunluğuna karşı KOİ giderim verimi

Tablo 6.15. Sızıntı suyuyla yapılan benzer literatür çalışmaları

Çalışma Yapılan Atıksu Numunesi	Proses Yöntemleri	Çalışma Sonrası Bulgular	Kaynak
Sızıntı suyu ve kanalizasyon alt yapısına ait atıksu	Ardışık kesikli reaktörde	BOİ 'nin %95, nitratında %99 oranında giderildiğini belirtmişlerdir.	56
Sızıntı suyu	Klasik Fenton prosesi	Optimum koşulları belirleyerek %70 oranında KOİ giderimi yaptıklarını belirtmişlerdir.	57
Sızıntı suyu	Elektro-Fenton prosesi	Optimum koşullarda %70,4 oranında KOİ giderimi yaptıklarını belirtmişlerdir.	58
Sızıntı Suyu	Fiziko-kimyasal arıtma yöntemleri	Kireçle ön arıtmada %38 KOİ, demir (III) klorür ve alüminyum sülfat ile yapılan arıtma sonucunda sırası ile %55 ve %59 KOİ giderimi sağladıklarını ve ön arıtmadan geçirilen amonyağı sıyrılmış sızıntı sularında evsel atıksularla beraber arıtılabileceğini belirtmişlerdir.	59
Aerobik olarak arıtılmış sızıntı suyu	Klasik Fenton	Optimum koşullar altında %70 oranında KOİ giderimi yaptıklarını belirtmişlerdir.	60
Ön arıtmaya tabi tutulan sızıntı suyu	Klasik Fenton	Optimum koşullar altında %70 oranında KOİ giderimi yaptıklarını belirtmişlerdir.	61
Anaerobik akışkan yataklı reaktör ile ön arıtım yapılmış sızıntı suyu	Klasik Fenton	Optimum koşullar altında %85 oranında KOİ giderimi yaptıklarını belirtmişlerdir.	62
Tekirdağ İli Katı Atık Düzenli Depolama Alanından Alınan Sızıntı Suyu	Klasik Fenton	KOİ giderim veriminin %80'ler civarında olduğu, ayrıca demir bazlı koagülantların alüminyum (Al) bazlı koagülantlara göre daha verimli olduğunu belirtmişlerdir.	63
Atık su	Klasik Fenton	Fe <sup>+2</sup> konsantrasyonu, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> konsantrasyonu ve pH parametrelerinin optimum değerleri sırasıyla 1.61 g L <sup>-1</sup> , 10 g L <sup>-1</sup> ve 4 olarak belirlenmiş olup bu şartlarda %88 KOİ giderim verimi elde etmişlerdir.. Fentonoksidasyon prosesinin yüksek KOİ içeren atıksularda uygulanabileceğini belirtmişlerdir.	64
Sızıntı Suyu	Klasik Fenton	Uçucu külle güçlendirilmiş Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 'ün, 100 dakikalık reaksiyon süresinde optimum pH 3, 0.05M H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ve 1000 mg/L katalizör dozajında Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 'ten %12.3 daha yüksek giderim verimliliğine sahip olduğu %84.7 oranında KOİ giderimi sağladığı görülmüştür. Bu uçucu kül takviyeli Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> 'ün, %68 TOK giderimi sağladığı ve biyolojik olarak parçalanabilirlikte iyi bir artış gösterdiğini belirtmişlerdir.	65
Sızıntı Suyu	Klasik Fenton	Sızıntı suyu renk azalmaları, Fenton ve Fenton benzeri işlemler için sırasıyla %98.17 ve %70 oranında gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda Fenton ve Fenton benzeri proseslerin, ham atık suyun toksisitesini azalttığı ve Fenton proses ile atık suyun gözlenen toksisitesinin önemli ölçüde daha düşük çıktığını belirtmişlerdir.	66

Endüstriyel Atıksu	Fotokataliz ve Fenton prosesi	Foto-kataliz ile renk ve KOİ'deki azalmayı sırasıyla %10 ve %5 olarak bulmuşlardır ve Fenton prosesi ile 2 saat sonra sırasıyla %80 ve %72 değerlerini elde etmişlerdir. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Fe <sup>2+</sup> konsantrasyonlarının optimizasyonu, renk ve KOİ'deki maksimum azalmanın H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :Fe <sub>2+</sub> (30:1) oranında gerçekleştiğini belirtmişlerdir.	67
Düzenli Depolama Alanı Sızıntı Suyu	Fenton (RSM Yöntemiyle optimizasyon)	Optimum toplam organik karbon gideriminin 37.31 dakika, pH 3, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : Fe+2 4.75 oranında ve 634.49 mg/L Fe+2 şartlarında gözlemlendiğini göstermiştir. Toplam 37 organik karbon gideriminin deneysel değerleri, yanıt yüzey metodolojisi aracılığıyla ve optimum ayarlarda doğrulanmıştır, böylece toplam organik karbon gideriminin %95.16'sı gözlemlenmiş ve böylece geliştirilen modelin sonuçları doğrulanmıştır. 1'e yakın olan %95.29 katsayılı yüksek bir R <sub>2</sub> değeri, hem deneysel hem de model analizlerinin sonuçlarındaki bazı yakın benzerlikleri doğruladı. Roudi ve ark., oluşturduğu ampirik modelin, Fenton prosesi kullanılarak sızıntı suyundan toplam organik karbonun giderimini tahmin etmek için kullanılabileceği belirtmişlerdir.	68
Çöp sızıntı suyu	Fenton prosesi ile sinerjik olarak bağlanan membran elektrokimyasal reaktörü	yaptıkları çalışmalarında iki aşamalı birleştirilmiş sistemin, sızıntı suyunun KOİ'sini %88 oranında giderdiğini belirtmişlerdir.	69
Çöp sızıntı suyu	Foto Fenton ve elektro Fenton prosesi	Elektro-Fenton prosesinde KOİ giderimi için optimum koşulları (pH: 3, akım yoğunluğu: 100 A/m <sup>2</sup> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 2000 mg/L, karıştırma hızı: 250 rpm, elektrotlar arası mesafe: 1.5 cm) olarak belirlemişlerdir. Bu koşullarda 0.79 kWh/m <sup>3</sup> lük elektrik enerjisi tüketimi ile maksimum %68 KOİ giderimi, %69 renk giderimi elde etmişlerdir. Foto-elektro-Fenton prosesi için optimum koşullar (pH: 3, akım yoğunluğu: 10 A/m <sup>2</sup> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 1000 mg/L, UV lamba: 16W, karıştırma hızı: 250 rpm, elektrotlar arası mesafe: 1.0 cm) belirlenerek bu koşullarda arıtım verimi KOİ gideriminde %83.84 ve renk gideriminde %84.86'ya ulaştığını belirtmişlerdir.	70
Sızıntı suyu	Klasik Fenton ve foto Fenton prosesi	Klasik Fenton prosesinde %55-63 aralığında KOİ giderimi, foto-Fenton prosesinde %82-89 aralığında değişen oranlarda maksimum verimi alındığını belirtmişlerdir.	Bu çalışma

Ham atıksuyun pH değeri 6,9 olup, yapılan Klasik ve Foto Fenton analizlerinde optimum pH= 3 olarak bulunmuş ve çalışmalar bu pH değerinde yapılmıştır.

Klasik-Fentonda optimum verim; pH değeri 3'te, 23±2°C sıcaklıkta, 500 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/300 mg/L Fe<sup>2+</sup> oranında etkin reaksiyon süresi 45 dakika olarak ayarlanmıştır. 400 rpm hızlı ve 90 rpm yavaş karıştırma yapılmış ve %63 KOİ giderim verimi sağlanmıştır.

Foto-Fenton prosesinde ise optimum verim; pH değeri 3'te,  $23\pm 2$  °C'de 400 rpm hızlı 90 rpm yavaş karıştırma koşullarında etkin reaksiyon süresi 35 dakika olarak belirlenmiştir. 35 dakikalık etkin sürelerde çalışılan 3 farklı  $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2$  oranı (100/2000, 125/2000, 300/2000) için benzer KOİ giderim verimlerine ulaşılmış olup sırasıyla; %80,6-81,7 ve 80,2'dir. Foto-Fenton prosesinde optimum  $\text{Fe}^{+2}$  dozajının belirlenmesi amacıyla  $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2$  oranı 100/2000'de arıtım %80,6 iken 125/2000'de arıtım %81,7 olarak bulunmuştur. Bu nedenle kimyasal sarfiyatının minimum, verimin maksimum olduğu değeri tespit etmek amaçlı ek minimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Foto-Fenton prosesinde 100 mg/L  $\text{Fe}^{+2}/$  1000 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$  oranında etkin süre sonunda (35 dk) %55 KOİ giderim verimi tespit edilirken 125 mg/L  $\text{Fe}^{+2}/$ 400 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$ 'de ise 35 dk etkin sürede %51 verim alınırken 1 saatlik proses sonunda %55 KOİ giderimi bulunmuştur.

Yapılan çalışmalarda etkin temas süresinin optimum koşullar altında tespitini takiben oksidasyon veriminin 1 saatlik toplam izleme verileri kinetik çalışmalarda ortaya konulmuştur. Kinetik çalışmalarda 60 dakikalık arıtma süresi boyunca klasik-Fentonda 300 mg/L  $\text{Fe}^{+2}/$ 500 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$  oranı için en iyi arıtım performansı %64 olarak bulunurken klasik-Fentondaki bir diğer deneysel çalışmada 300 ppm  $\text{Fe}^{+2}/$ 1000 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$  oranı için en iyi arıtım 60.dakikada %53'tür. Foto-Fenton prosesinde yapılan kinetik çalışmalarda ise 300 mg/L  $\text{Fe}^{+2}/$ 1000 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$  oranında en iyi arıtım 60.dakikada %85'dir. Diğer kinetik çalışmada ise 125 mg/L  $\text{Fe}^{+2}/$  400 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$ 'te en iyi arıtım 60. dakikada %55 olarak tespit edilmiştir.

Son olarak optimum değerler göz önüne alınarak foto-Fentonda farklı sayıda aynı güçte çalışan (8 wattlık) UV lamba kullanılarak etkin ışık yoğunluğunun tespitine yönelik birtakım deneyler yapılmıştır. Foto reaktörde gerçekleştirilen UV radyasyon performans deneyleri 254 nm dalga boyunda ışık yayan en az 1 en çok 8 adet UV-c lamba altında gerçekleştirilmiştir. Buna göre; 1 saatlik proses süresince 300 mg/L  $\text{Fe}^{+2}/$ 1000 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$  oranında 8 lamba açıkken (64 watt ışık yoğunluğunda) en yüksek %89 KOİ giderim verimi bulunmuştur. Diğer taraftan 125 mg/L  $\text{Fe}^{+2}/$  400 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$  oranında ise 8 lamba altında (64 watt ışık yoğunluğunda) en yüksek %63 KOİ giderim verimine ulaşılmıştır.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yaptığımız çalışmada Sivas Belediyesi katı atık tesisi sızıntı havuzundan alınan ham atıksu örneği üzerinde ileri oksidasyon çalışmaları yapılmıştır. Klasik-Fenton, foto-Fenton oksidasyon sonuçları oldukça başarılı bir arıtım seçeneği olarak ele alınmıştır. Etkin arıtma verimleri belirlenmesi ve kinetik çalışmaların yürütüldüğü bu çalışmada özellikle foto-Fenton yönteminde ışık yoğunluğunun etkinliği tartışılmış ve literatürde yer bulacak bir dizi sonuç elde edilmiştir.

Klasik-Fenton ve foto-Fenton prosesleri uygulanarak çalışmalar pH; 3, sıcaklık;  $23\pm 2$  °C'de yürütülmüştür. En yüksek KOİ giderim verimi sırasıyla klasik-Fenton prosesi için, 300 mg/L  $Fe^{+2}$  / 500 mg/L  $H_2O_2$  dozu için %63, foto-Fenton prosesi için 300 mg/L  $Fe^{+2}$  / 1000 mg/L  $H_2O_2$  dozu için %82 olarak elde edilmiştir. Foto-Fenton prosesinde 2000 mg/L  $H_2O_2$  değerine karşı 125 mg/L  $Fe^{+2}$  %82, 100 mg/L  $Fe^{+2}$  %81 KOİ giderim verimi elde edilmiştir. 100 mg/L ve 125 mg/L  $Fe^{+2}$  değerlerinin yakın değerlerde giderim verimi elde ettiği görülmüş olup, kimyasal sarfiyatını azaltarak yüksek verim elde etmek amacıyla farklı  $H_2O_2$  değerlerine karşı giderim verimi denenmiş olup en yüksek KOİ giderim verimi 400 mg/ L  $H_2O_2$ 'de %55 olarak bulunmuştur. Klasik-Fenton prosesinden arıtım süresinin belirlenmesi amacıyla 1 saatlik izleme verileri 300 mg/L  $Fe^{+2}$ / 500 mg/L  $H_2O_2$  değerinde en yüksek %64, foto-Fenton prosesinde 300 mg/L  $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L  $H_2O_2$  değerinde en yüksek %85 oranında KOİ giderim verimi sağlanarak, kinetik çalışmalar yapılmış ve yapılan çalışmalar kinetik modeller üzerinden en uygun kinetik modelin BMG kinetik model olduğu tespit edilmiştir. Foto-Fenton prosesinde 35 dakikalık etkin sürelerde ışık yoğunluğu deneyleri yapılarak 64 watt UV lamba altında 300 mg/L  $Fe^{+2}$ / 1000 mg/L  $H_2O_2$  dozlama oranında maksimum %89 'luk bir KOİ giderim verimi sağlanmıştır.

Sonuç olarak; genel anlamda bu tez çalışması öncesi yapılan literatür çalışmaları ile ortaya konulan ve yaptığımız çalışma neticesinde de açık olarak görülmektedir ki, sızıntı sularının arıtılmasında Fenton oksidasyonu etkili bir tekniktir. Ayrıca, ultraviyole radyasyonu ile aktive edilen bir proses olarak foto-Fenton oksidasyonu klasik-Fenton prosesine kıyasla hem daha hızlı gerçekleşmekte hem de daha az kimyasal kullanıma rağmen daha iyi KOİ giderim verimleri elde edilebilmektedir. Bu çalışmada ilave olarak



UV radyasyonunun kabin içi lamba sayısının arttırılmasıyla radyasyon etkisinin değiştirilmesinin proses hızını pozitif yönde etkilediği tespit edilmiş ve KOİ giderimi üzerindeki etkinliği de ortaya çıkarılmıştır. Prosesin uygulanabilirliği konusunda toplam kimyasal sarfiyatı, kullanılacak enerji miktarı (katı atık tesisinden üretilen alternatif enerjiler hesaba katılarak) ve diğer proses maliyetleri üzerinden mevcut arıtım tesislerine adaptasyonu projelendirilebilir. Aynı zamanda sızıntı sularının karmaşık karakteristik yapısından dolayı ön arıtma seçeneği olarakta hibrit arıtım modeli olarak ta foto-Fenton prosesi ile arıtım kabiliyeti arttırılabilir. Böylece farklı bir bakış açısıyla foto-Fenton proseslerinin sürdürülebilir verimliliğinin incelendiği bu çalışma, kullanılan ışırma enerjisinin etkinliğini ele alması yönüyle de öne çıkmakta ve daha sonra yapılacak çalışmalarda araştırmacılar için örnek niteliğinde birtakım sonuçları değerlendirme imkanı sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

1. İnternet “Çevremizi Kirleten Atıklar ve Atık Yönetiminin Önemi”  
[http://www.izmir.org.tr/portals/0/argebulten/at%C4%B1klarveat%C4%B1ky%C3%B6netimi\\_handeuzunoglu](http://www.izmir.org.tr/portals/0/argebulten/at%C4%B1klarveat%C4%B1ky%C3%B6netimi_handeuzunoglu).
2. Anonim, Atık Yönetimi Yönetmeliği, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, 2005.
3. Vaughn, J., *Waste Management A Reference Handbook*. ABC-Clio, s. 331, California, 2009.
4. Bilgili, M. Y., december 4-5, “Katı Atık Yönetiminde Bazı Kavramlar ve Açıklamaları”, *Avrasya Terim Dergisi*, (2), s. 88-97, 2020.
5. Tchobanoglous, G., Kreith, F., & Williams, M. E. “Handbook of Solid Waste Management, 2nd ed.” Introduction G. Tchobanoglous ve F. Kreith, *Mc Graw Hill*, s. 1-27, New York, 2002.
6. Öztürk, İ., “Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, 2. Baskı.” Editör, İzzet Öztürk, s. 1-6, *İSTAÇ Teknik Kitaplar Serisi*, İstanbul, 2015.
7. Akdoğan, A., ve Güleç, S., “Belediyelerde Katı Atık Yönetimi ve İl Belediyelerinde Gerçekleştirilen Ampirik Bir Çalışma”, *Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi*, 14 (4), s. 51-78, 2005.
8. Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, *T.C. Resmî Gazete*, 30283, 27 Aralık 2015.
9. European Parliament and Council (2006 a) April 5, *Directive 2006/12/EC of the European Parliament and of the Council of Official Journal of the European Union L*, 114, 9-21, 2006.
10. Güleç, S., “Belediyelerde Katı Atık Yönetimi (İl Belediyelerinde Bir Araştırma)”, İşletme Anabilim Dalı Yayınlanmamış *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Kayseri, 2004.
11. Sayar, Ş., “Sakarya İli Entegre Atık Yönetimi ve Ambalaj Atıklarının Geri Dönüşümü”, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yayınlanmamış *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya, 2012.
12. Steiner, M. ve Ulrich, W., “Katı Atık Yönetimi: Atık Yönetiminin Esaslarına Yönelik Rehber Kitap”, *Eflatun Yayınevi*, Ankara, 2009.
13. Çevre Kanunu, *T.C. Resmî Gazete*, 18132, 11 Ağustos 1983.

14. Palabıyık, H., Belediyelerde Kentsel Katı Atık Yönetimi: İzmir Büyükşehir Belediyesi Örneği, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı Yayınlanmamış, *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi*, İzmir, 2001.
15. Uzunoglu, H., July 2014, *Çevremizi Kirleten Atıklar ve Atık Yönetiminin Önemi*, İzmir Ticaret Odası AR&GE Bülten, 2014 Haziran-Sektörel, 25-31, 2014.
16. Tıbbî Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, *T.C. Resmî Gazete*, 29959, 25 Ocak 2017.
17. Yaslıkaya, R., Katı Atık Hizmetlerinde Özelleştirme, Kamu Yönetimi ve Siyaset Bilimleri Anabilim Dalı Yayınlanmamış, *Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Doktora Tezi*, Ankara, 2004.
18. Mc Dougall, F., R, White, R., Franke, M., & Hindle, P., “Integrated Solid Waste Management”, A Life Cycle Inventory 2nd ed., *Black well Science*, Oxford, London, 2001.
19. Keleş, R., Hamamcı, C., ve Çoban, A., “Çevre Politikası”, *İmge Kitabevi*, Ankara, 2015.
20. İnternet: “İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Kalkınma”  
[http://www.canaktan.org/ekoloji-cevre/iklim-degisiklik/surdur- kalkinma.htm](http://www.canaktan.org/ekoloji-cevre/iklim-degisiklik/surdur-kalkinma.htm), Erişim Tarihi: 27.06.2018, 2007.
21. Strange, T., & Bayley, A., “NachhaltigeEntwicklung – Wirtschaft, Gesellschaft, Umwelt im Zusammenhangbetrachtet (Übersetzungdurch den Deutschen Übersetzungsdienst der OECD – Original fassungenver öffentlichunter dem Titel: Sustainable Development/Le développementdurable)”, *OECD Insights*, 2008.
22. Chang, N. B., ve Pires, A., “Sustainable Solid Waste Management”, N. B. Chang ve A. Pires *A Systems Engineering Approach IEEE Wiley Hoboken*, New Jersey, 2015.
23. Unnisa, S. A., “Sustainable Solid Waste Management”, S. A. Unnisa ve S. BhupatthiRav, *Apple Academic Press*, Canada, 2012.
24. Şengül, E., Filibeli, A., ve Karagündüz A., “Pamukyağı endüstrisinin karakteristikleri ve artımı”, *İTÜ 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu*, s. 121-137, İstanbul, 1992.
25. Martinez N. S. S., Fernandez, J. F., Segura, X. F., & Ferrer, A. S., “Pre-oxidation of an extremely polluted industrial wastewater by the Fenton’s reagent”, *Journal of Hazardous Materials*, 101, s. 315-322, 2003.

26. Tanattı, N. P., “Biyodizel Atıksularının Elektrokoagülasyon ve İleri Oksidasyon Yöntemleri İle Arıtılabilirliği”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2015.
27. El-Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W., & Alayli, B., “Temporal Variation of Leachate Quality from Pre-Sorted and Baled Municipal Solid Waste with High Organic and Moisture Content”, *Waste Management*, Vol:22, No:3, 269-282, 2002.
28. Slack, R.J., Gronow J.R., Voulvoulis, N., “Hazardous Components of Household Waste”, *Environmental Science & Technology*, Vol:34, 419-445, 2004.
29. Isidori, M., Lavorgna, M., Nardelli, A., & Parrella, A., “Toxicity Identification Evaluation of Leachates from Municipal Solid Waste Landfills a Multispecies Approach”, *Chemosphere*, Vol:52, 85-94, 2003.
30. Vesilind, P.A., Worrell, W.A., Reinhart, D.R., “*Solid Waste Engineering, Brooks*”, *Cole/Thomson Learning*, ISBN:0-534-37814-5, 17-153, 2002.
31. Kakavandi B., Takdastan A., Jaafarzadeh N., Azizi M., Mirzaei A., & Azari A., “Application of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> C catalyzing heterogeneous UV-Fenton system for tetracycline removal with a focus on optimization by a response surface method”, *Journal of Photochemistry and Photobiology A Chemistry*, 314, s. 178-188, 2016.
32. Kim, K., Qiu P., Cui M., & Khim J., “Development and application of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Pd nanospheres as catalyst for electrochemical heterogeneous Fenton process”, *Chemical Engineering Journal*, 9, s. 1165-1173, 2016.
33. Sang, N., Li, G., & Xin, X., “Municipal Landfill Leachate Induces Cytogenetic Damage in Root Tips of *Hordeum Vulgare*”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol:63, 469-473, 2006.
34. Öztürk, İ., “Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları”, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, *Su Vakfı Yayınları*, s. 480, İstanbul, 1999.
35. Neyens, E., & Baeyens, J., “A review of classic Fenton’s peroxidation as an advanced oxidation technique”, *J. Hazard. Mater.*, 98 (1-3), 33-50, 2003.
36. Kang, Y.W. & Hwang, K., “Effect of reaction conditions on the oxidation efficiency in the fenton process”, *Water Research*, 34, 2786-2790, 2000.

37. Rivas, F.J., Beltran, F.J., Gimeno, O. & Frades, J., "Treatment of olive oil mill wastewater by Fenton's reagent", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 4, 1873-1880, 2001.
38. Kwon, B.G., Lee, D.S., Kang, N. & Yoon, J., "Characteristics of p-chlorophenol oxidation by Fenton's reagent", *Water Research*, 33, 2110-2118, 2004.
39. Benitez, F.J., Acero, J.L., Real, F.J., Rubio, F.J. & Leal, A.I., "The role of hydroxyl radicals for the decomposition of p-hydroxyphenylacetic acid in aqueous solutions", *Water Research*, 35, 1338-1343, 2001.
40. Alaton, A. ve Gürses, F., "Treatment of olive oil mill wastewater by Fenton's reagent Penisilin prokain Gantibiyotik formülasyon atıksuyunun Fenton benzeri ve foto-Fenton benzeri ileri oksidasyon prosesleri ile artırılabilirliğinin incelenmesi", *Su Kirlenmesi ve Kontrolü Dergisi*, (1), 11-16, 2004.
41. Lin, S.H., & Chang, C.C., "Treatment of landfill leachate by combined electro fenton oxidation and sequencing batch reactor method", *Water Research*, (17), s. 4243-4249, 2000.
42. Çokay, E., ve Sengül, F., "Toksik kirleticilerin ileri oksidasyon prosesleri ile arıtımı", *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, (2), 1-9, 2006.
43. Liou, M.J., Lu, M.C. & Chen, J. N., "Oxidation of explosives by Fenton and photo Fenton processes", *Water Research*, (13), 3172-3179, 2003.
44. Tauchert, E., Schneider, S., Lopes de Morais, J., "Peralta-Zamora, P., Photochemically Assisted Electrochemical Degradation of Landfill Leachate", *Chemosphere*, 212-214, 2006.
45. Teel, A.M. & Watts, R., "Degradation of carbontetrachloride by modified Fenton's reagent", *Journal of Hazardous Materials*, B94, 179-189, 2002.
46. Xu, B., Gao, N. Y., Sun, X. F., Xia S. J., Rui, M., Simonnot, M. O., Causserand, C., & Zhao, J. F., "Photochemical degradation of diethyl phthalate with UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>", *Journal of Hazardous Materials*, 139, 132-139, 2004.
47. Lucas, M.S. & Peres, J.A., "Degradation of Reactive Black 5 by Fenton/UVC and ferrioxalate/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/solar light processes", *Dyes and Pigments*, 74, 622-629, 2007.
48. Azbar, N., Yonar, T. & Kestioglu, K., "Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and

- colorremovalfrom a polyester andacetate fiber dyeingeffluent”, *Chemosphere*. 55, 35-43, 2004.
49. Aydin, A., ve Sarikaya, H., “Fenton’soxidationforadvanced treatment of high strength opiumalkaloidindustryef fluentstreatedwith biological processes”, *ITU Dergisi*, 1, 1-12,2002.
  50. Sevimli, M.F., “Post-treatment of pulpan d paper industry wastewater by advanced oxidation processes”, *Ozone Science & Engineering*. (1), 37-43, 2005.
  51. Rivas, F. J., Beltran, F. J., Frades, J. ve Buxeda, P., “Oxidation of p-hydroxybenzoic acid by Fenton'sreagent”, *Water Research*, 35 (2), 387-396, 2003.
  52. Diao, H.F., Li, X.Y., Gu, J.D., Shi, H.C. & Xie, Z.M.,”Electronmicroscopic investigation of thebactericidalaction of electrochemic aldisinfection in comparision with chlorination, ozonation and Fentonreaction”, *Process Biochemistry*, 39, 1421-1426, 2004.
  53. Badawy M. I. & Ali, M. E. M., “Fenton’speroxidation and coagulation processes forth treatment of combinedindustrialan domestic wastewater” *Journal of Hazardous Materials*, 136, 961–966, 2006.
  54. Rivas, F.J., Beltran, F.J., Carvalho, F., Acedo, B. And Gimeno, O., “Stabilized leachates: sequential coagulation-flocculation chemical oxidation process”, *Journal of Hazardous Materials*, 1-2, 95-102, 2004.
  55. Burbano, A.A., Dionysiou, D.D., “Suidan, M.T. and Richardson, T.L., Oxidation kinetics andeffect of pH on the degradation of MTBE with Fenton reagent”, *Water Research*, 39, 107-118, 2005.
  56. Diamadopoulos, E., Samaras, P., Dabou X. ve Sakellaropoulos, G. P., “Combined treatment of landfill leachate and domesticsewage in a sequencing batchreactor”, *Water Scienceand Technology*, 36(2-3), 61-68, 1997.
  57. Kang, Y.W., Hwang, K-Y., “Effects of reactionconditions on theoxidationef ficiency in the Fentonprocess”, *Water Research*, 34(10), 2786-2790, 2000.
  58. Lin, S.H., Chang, C.C., “Treatment of landfill leachate by combinedelectro-Fentonoxidationand sequencing batch reactormethod”, *Water Research*, 34(17), 4243-4249, 2000.

59. Yalılı, M., Kestioğlu, K., Kırıl Mert, B., “Sızıntı Sularının Eysel Atıksularla Birlikte Arıtılabilirliğinin Respirometrik Yöntemle İzlenmesi”, *Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(1), 65-66, 2006.
60. Wang, P., Lau, I., Fang, H., Zhou, D., “Landfill leachate tretment with combined uasb and Fenton coagulation”, *Journal of Environmental Science & HealthPart A*, 35(10), 1981-1988, 2000.
61. Lau, I.W.C., Wang, P., Fang, H.H.P., “Organic removal of anaerobically treated leachate by Fenton coagulation”, *Journal of Environmental Engineering*, 127(7), 666-669, 2001.
62. Gulsen, H., Turan, M., “Treatment of sanitary landfill leachate using a combine danaerobicf luidizedbedreactorand Fentonsoxidation”, *Environmental Engineering Science*, 21(5), 627-636, 2004.
63. Şahinci, E., “Tekirdağ İli Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Sularının Arıtım Metotlarının İncelenmesi”, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Tekirdağ, 2014.
64. Değirmenci, G.D., Bayhan, Y.K., Değirmenci, N., “Yüksek Organik Madde İçeren Endüstriyel Bir Atıksuyun Fenton Prosesi İle Arıtılabilirliğinin Araştırılması”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 17-22, 2014.
65. Teh, C. Y., Budiman, P. M., Shak, K. P. Y., Wu, T. Y., “Recent advancement of coagulation–flocculation anditsapplication in wastewater treatment”, *Industrial&Engineering Chemistry Research*, 55(16), 4363-4389, 2016.
66. Göde, J.N., Souza, D.H., Trevisan, V., Skoronski, E., “Application of theFenton and Fenton-like processes in the land fill leachate tertiary treatment”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), 103352, 2009.
67. Rao, S. N., Shrivastava S., “Treatment of complexrecalc itrantwastewaterusing Fentonprocess”, *Materialstoday Proceedings*, 29, 1161-1165, 2020.
68. Roudi, A. M., Kamyab, H., Chelliapan, S., Ashokkumar, V., Kumar, A., Yadav, K. K., Gupta, N., “Application of response sur facemethodfor Total organic carbon reduction in leachate treatment using Fenton process”, *Environmental Technology & Innovation*, 19, 101009, 2020.
69. Liu, X., Novak, J. T., He, Z., “Synergistically coupling membrane electrochemical reactor with Fenton process to enhance landfill leachate treatment”, *Chemosphere*, 247: 125954, 2020.

70. Beyazıt N., Atmaca, K., “COD and Color Removal from Landfill Leachate by photo electro-Fenton Process”, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 16, Article ID:210539, doi:10.20964/2021.05.65, 2021.
71. İnternet: Sivas Belediyesi, “Katı Atık Tesisi”, <https://www.sivas.bel.tr/Content.aspx?ContentID=5762&CategoryID=6>
72. Behnajady, M.A., Modirshahla, N., Ghanbary, F., “A kinetic model for the decolorization of C.I. Acid Yellow 23 by Fenton process”, *Journal of Hazardous Materials*, 148, 98-102, 2007.
73. Ahmadian, M., Reshadat, S., Yousefi N, Mirhossieni SH, Zare MR, Ghasemi SR, Rajabi Gilan N, Khamutian R, Fatehizadeh A. “Municipal leachate treatment by Fenton process: effect of some variable and kinetics”, *Journal of Environmental and Public Health*, 1-7, 2013.
74. Ertugay, N., “Homojen ve Heterojen İleri Oksidasyon Sistemleri ile Boyar Madde Giderimi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü”, *Doktora Tezi*, s. 63-64, Erzurum, 2012.