

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

**YÜKSEK TOPLAM ORGANİK KARBON (TOK) İÇERİKLİ ENDÜSTRİYEL
ATIKSULARIN FOTO-FENTON PROSESİ İLE ARITIMININ
ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan
Ali Özkan POYRAZ**

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

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**ŞUBAT 2020
NEVŞEHİR**

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin CÜCE danışmanlığında Ali Özkan POYRAZ tarafından hazırlanan "**Yüksek Toplam Organik Karbon (TOK) İçerikli Endüstriyel Atıksuların Foto-Fenton Prosesi İle Arıtımının Araştırılması**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

27/03/2020

JÜRİ

Başkan : Doç. Dr. Seval ARAS

Üye (Danışman) : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin CÜCE

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şevket TULUN

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 04.03.2020 tarih ve 74-718 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

05/03/2020
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ali Özlun POYRAZ



TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sũresince engin bilgi ve birikimini benimle paylaőan, her an desteğini ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam sayın Dr. Öğretim Üyesi Hũseyin CũCE' ye Őũkranlarımı sunarım.

Tezin deneysel çalışmalarının yapılabimesi adına laboratuvar çalışma alanını kullanımıma sundukları için Nevşehir Hacı Bektaş Veli Őniversitesi Mũhendislik Mimarlık Fakũltesi evre Mũhendislięi Bũlũm Baőkanlıęı'na teőekkũr ederim.

Tez çalıőmalarım boyunca karőılaőtıęım tũm olumsuz durumlara karşın desteklerini esirgemeyerek devam etmeme vesile olan aileme ve arkadaőlarıma sonsuz teőekkũrlerimi sunarım.

Oğlum Ali Aras POYRAZ ve babam Cafer POYRAZ ithafen

**YÜKSEK TOPLAM ORGANİK KARBON (TOK) İÇERİKLİ ENDÜSTRİYEL
ATIKSULARIN FOTO-FENTON PROSESİ İLE ARITIMININ
ARAŞTIRILMASI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ali Özkan POYRAZ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat/2020

ÖZET

Yüksek toplam organik karbon (TOK) içeriğine sahip endüstriyel nitelikli atıksuların konvansiyonel atıksu arıtma prosesleri yoluyla arıtılmasında verim düşüklüğü, arıtma süresinin uzun olması, yüksek debilere karşı esnek olmayışı ve diğer uygulama zorlukları başlıca sorunlar arasında görülmektedir. Son yıllarda, endüstriyel atıksuların ön arıtılmasında ve/veya biyolojik arıtımın yeterli olmadığı durumlarda alternatif olabilen farklı ileri oksidasyon prosesleri (İOP) araştırılmaktadır. Bu tez kapsamında, yağlı tohumlardan bitkisel yağ ve (atık yağlardan) biyodizel üretimi yapan bir endüstri tesisinin atıksu karakterizasyonu tespit edilerek, ileri oksidasyon teknikleri arasında öne çıkan klasik Fenton ve Foto-fenton ileri oksidasyon prosesleriyle arıtılabilirliği incelenmiştir. TOK ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderim veriminin izleyici parametre olarak seçildiği oda sıcaklığında (25 °C) yürütülen deneysel ölçümler neticesinde; Klasik Fenton prosesi için en iyi arıtım, 150 ppm FeSO₄, 2250 ppm H₂O₂, pH 3 değerinde, 5 dakika 400 rpm hızlı, 30 dakika 90 rpm yavaş karıştırma ile % 94,4 KOİ giderimi, %80 TOK giderim verimi ile sağlanmıştır. Foto-fenton prosesi için ise en iyi arıtım; 40 watt UV-c ışık altında, 125 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, pH 3 değerinde, 5 dakika 400 rpm hızlı, 15 dakika 90 rpm yavaş karıştırma ile %94,1 KOİ giderimi, %81,3 TOK giderim verimi ile sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Foto-Fenton, Endüstriyel atıksu arıtımı, Atık yağ, Biyodizel

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin CÜCE

Sayfa Sayısı: 108

**INVESTIGATION OF TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER
CONTAINED HIGH TOTAL ORGANIC CARBON (TOC) WITH PHOTO-
FENTON PROCESS**

(MASTER'S THESIS)

Ali Özkan POYRAZ

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February/2020

ABSTRACT

In the treatment of industrial wastewaters with a high total organic carbon (TOC) content through conventional wastewater treatment processes, low efficiency, long treatment time, inelastic flexibility against other flows and other application difficulties are among the main problems. In recent years, different advanced oxidation processes (IOP's) have been explored, which may be an alternative for pre-treatment of industrial wastewater and / or where biological treatment is not sufficient. Within the scope of this thesis, the characterization of the wastewater of a factory that produces vegetable oil from oilseeds and biodiesel (from waste oils) was determined and its treatability with classical Fenton and Photo-fenton processes, which stand out among the advanced oxidation techniques, was investigated. As a result of the experimental measurements carried out at room temperature (25 C⁰) where the TOC and chemical oxygen demand (COD) removal efficiency was selected as the monitoring parameter; The best treatment for the classical Fenton process was achieved with 150 ppm FeSO₄, 2250 ppm H₂O₂, pH 3, 5 minutes 400 rpm speed, 30 minutes 90 rpm slow mixing, 94.4% COD removal, 80% TOC removal efficiency. The best treatment for the photo-fenton process; Under 40 watt UV-c light, 125 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, pH 3, 5 minutes 2000 rpm speed, 15 minutes 90 rpm slow mixing was achieved with 94.1% COD removal, 81.3% TOC removal efficiency.

Keywords: Photo-fenton, industrial wastewater treatment, waste oil, biodiesel

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hüseyin CÜCE

Page Number: 108

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY VE KABUL SAYFASI.....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
RESİMLER LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. BÖLÜM: GİRİŞ.....	1
2. BÖLÜM: GENEL BİLGİLER	3
2.1. Atıksu Arıtımında Klasik Prosesler.....	3
2.1.1. Evsel Nitelikli Atıksular ve Klasik Arıtma Prosesleri.....	3
2.1.2. Endüstriyel Nitelikli Atıksular ve Klasik Arıtma Prosesleri	4
2.1.2.1. Bitkisel Yağ ve Biyodizel Üretim Endüstrisi Atıksuları	6
2.2. Atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Prosesleri	9
2.2.1. Hidroksil Radikal Bazlı İleri Oksidasyon Prosesleri.....	10
2.2.2. Ozon Bazlı İleri Oksidasyon Prosesleri.....	10
2.2.3. UV Radyasyonu/Hidrojen Peroksit (UV/H ₂ O ₂) Prosesi	11
2.2.4. UV Radyasyonu / Ozon (UV/O ₃) Prosesi	11
2.2.5. Homojen (Klasik) Fenton Prosesleri	11
2.2.6. Heterojen Fenton Prosesleri	13
2.2.6.1. Elektro-fenton Oksidasyon Prosesi.....	15
2.2.6.2. Sonofenton Oksidasyon Prosesi (Ultrasonik Oksidasyon)	15
2.2.6.3. Foto-Fenton Oksidasyon Prosesi	15
2.2.6.3.1. Foto-Fenton Proseslerini Etkileyen Faktörler	16
i. Demir İyonu Etkisi.....	16
ii. pH Etkisi	16
iii. Oksidan (H ₂ O ₂) Derişiminin Etkisi	17
iv. Sıcaklığın Etkisi.....	17

v. Reaksiyon Süresinin Etkisi	18
vi. Kirletici Konsantrasyonunun Etkisi	18
vii. Işıık Akısının Etkisi	18
2.3. Literatür Özetleri	18
3. BÖLÜM: MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Örneklemeye Konu Olan Tesisin Tanıtımı	25
3.1.1. Üniteler ve Atıksu Kaynakları.....	25
3.1.2. Tesiste Uygulanan (Klasik) Atıksu Arıtımı	28
3.2. Materyal.....	30
3.3. Yöntem	39
3.3.1. Çözeltilerin Hazırlanması.....	39
3.3.2. Klasik Fenton Oksidasyon Deneyleri.....	41
3.3.2.1. 1. Çalışma Yönetimi (Klasik Fenton Prosesine Göre Optimum pH Deneyleri)	41
3.3.2.2. 2. Çalışma Yöntemi (Klasik Fenton Prosesine Göre Optimum Fe ⁺² Optimizasyonu Deneyleri).....	42
3.3.2.3. 3.Çalışma Yöntemi (Klasik Fenton Prosesine Göre Optimum H ₂ O ₂ Optimizasyonu Deneyleri)	43
3.3.2.4. 4. Çalışma Yöntemi (Klasik Fenton Prosesine Göre En İyi Arıtım Süresi Kinetiği Deneyleri)	43
3.3.3. Foto-Fenton Oksidasyon Deneyleri	44
3.3.3.1. 5. Çalışma Yöntemi (Foto-Fenton Prosesine Göre Optimum Fe ⁺² Optimizasyonu Deneyleri).....	44
3.3.3.2. 6. Çalışma Yöntemi (Foto-Fenton Prosesine Göre Optimum H ₂ O ₂ Optimizasyonu Deneyleri).....	45
3.3.3.3. 7. Çalışma Yöntemi (Foto-Fenton Prosesine Göre En İyi Arıtım Süresi Kinetiği Deneyleri)	45
3.3.3.4. 8. Çalışma Yöntemi (Foto-Fenton Prosesine Göre UV _c Işıık Yoğunluğu Deneyleri)	46
3.3.4. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analizi	46
3.3.5. Hesaplamalar	46
4. BÖLÜM: BULGULAR	47

4.1. Klasik Fenton Prosesi Optimizasyon Çalışmaları	47
4.1.1. Klasik Fenton Prosesine Göre PH Optimizasyonu Deneyleri.....	47
4.1.2. Klasik Fenton Prosesine Göre FeSO ₄ Optimizasyonu Deneyleri.....	49
4.1.3. Klasik Fenton Prosesine Göre Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Optimizasyonu Deneyleri	51
4.1.4. Klasik Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Deneyleri	53
4.2. Foto-Fenton Prosesi Optimizasyon Çalışmaları.....	59
4.2.1. Foto-Fenton Prosesine Göre FeSO ₄ Optimizasyonu Deneyleri.....	59
4.2.2. Foto-Fenton Prosesine Göre Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Optimizasyonu Deneyleri	61
4.2.3. Foto-Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Deneyleri	64
4.2.4. Foto-Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğu Deneyleri	69
5. BÖLÜM: SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	72
5.1. Sonuçlar.....	72
5.2. Değerlendirme	74
KAYNAKÇA.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	95

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Ham Evsel Nitelikli Atıksuyun Karactersizasyonu [10].....	3
Tablo 2.2 Bazı Endüstriyel Atıksuların Kaynakları ve Özellikleri [13]	5
Tablo 2.3 Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan başlıca arıtım yöntemleri [13]	6
Tablo 2.4 Bazı Oksidanların Oksidasyon Potansiyelleri [36].....	12
Tablo 2.5 Son Yıllarda Kullanılan Katalizörler	13
Tablo 4.1 Ham Atıksu Karakteristiği.....	47
Tablo 4.2 pH Optimizasyonu Verileri	47
Tablo 4.3 Klasik Fenton Prosesine Göre FeSO ₄ Optimizasyonu Verileri	49
Tablo 4.4 Klasik Fenton Prosesine Göre Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Optimizasyonu Verileri.....	51
Tablo 4.5 Klasik Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Verileri.....	53
Tablo 4.6 0. , 1. ve 2. derece kinetik çalışması	58
Tablo 4.7 Fenton Prosesine Göre BMG Modeli Verileri.....	59
Tablo 4.8 Foto-Fenton Prosesine Göre FeSO ₄ Optimizasyonu Verileri	59
Tablo 4.9 Foto-Fenton Prosesine Göre Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Optimizasyonu Verileri.....	61
Tablo 4.10 Foto-Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Verileri	64
Tablo 4.11 0. , 1. ve 2. derece kinetik çalışması.....	68
Tablo 4.12 Foto-fenton Prosesine Göre BMG Modeli Verileri	69
Tablo 4.13 Foto-Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğu Verileri	69
Tablo 5.1 Sonuç Tablosu.....	72
Tablo 5.2 Çalışma Konusuna Benzer Literatür Tablosu	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Atıksu Arıtımı ve Arıtma Kademeleri [11].....	4
Şekil 3.1 Tesis Atıksu Arıtma Akım Şeması	28
Şekil 4.1 Klasik Fenton Prosesine Göre pH'a Karşılık KOİ Giderim Grafiği.....	48
Şekil 4.2 Klasik Fenton Prosesine Göre; Değişken pH 'a Karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği.....	48
Şekil 4.3 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken FeSO ₄ Değerlerine Karşılık KOİ Giderim Grafiği	50
Şekil 4.4 Klasik Fenton Prosesine Göre; Değişken FeSO ₄ Karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği	50
Şekil 4.5 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken H ₂ O ₂ 'ye karşılık KOİ Giderim Grafiği.....	52
Şekil 4.6 Klasik Fenton Prosesine Göre; Değişken H ₂ O ₂ Karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği.....	52
Şekil 4.7 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken Süreye karşılık KOİ Giderim Grafiği	54
Şekil 4.8 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken Süreye karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği.....	54
Şekil 4.9 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken Süreye karşılık pH Grafiği.....	55
Şekil 4.10 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken Süreye karşılık İletkenlik Değişim Grafiği.....	55
Şekil 4.11 Fenton Prosesine Göre 0. Derece Kinetik Modeli	56
Şekil 4.12 Fenton Prosesine Göre 1. Derece Kinetik Modeli	57
Şekil 4.13 Fenton Prosesine Göre 2. Derece Kinetik Modeli	57
Şekil 4.14 Fenton Prosesine Göre BMG Modeli	58
Şekil 4.15 Foto-Fenton Prosesine Göre Değişken FeSO ₄ 'e karşılık KOİ Giderim Grafiği	60
Şekil 4.16 Foto-Fenton Prosesine Göre Değişken FeSO ₄ 'e karşılık KOİ Verimi Grafiği	60

Şekil 4.17 Foto-fenton Prosesine Göre Değişken H_2O_2 'ye karşılık KOİ	Giderim
Grafiği.....	62
Şekil 4.18 Foto-fenton Prosesine Göre Değişken H_2O_2 'ye karşılık KOİ	Giderim
Verimi Grafiği	63
Şekil 4.19 Foto-fenton Prosesine Göre Optimum Koşullarda KOİ Giderim	Grafiği
.....	64
Şekil 4. 20 Foto-fenton Prosesine Göre Optimum Koşullarda KOİ Giderim	Verimi
Grafiği.....	65
Şekil 4.21 Foto-fenton Prosesine Göre Süreye Karşılık pH Grafiği.....	65
Şekil 4.22 Foto-fenton Prosesine Göre Değişken Süreye karşılık İletkenlik	Değişim
Grafiği.....	66
Şekil 4.23 Foto-Fenton Prosesine Göre 0. Derece Kinetik Modeli	67
Şekil 4.24 Foto-Fenton Prosesine Göre 1. Derece Kinetik Modeli	67
Şekil 4.25 Foto-Fenton Prosesine Göre 2. Derece Kinetik Modeli	68
Şekil 4.26 Foto-Fenton Prosesine Göre BMG Modeli.....	68
Şekil 4.27 Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğuna Karşılık KOİ Giderim	Grafiği
.....	69
Şekil 4.28 Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğuna Karşılık KOİ Giderim	
Verimi Grafiği	70
Şekil 4.29 Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğuna Karşılık pH Değişim	Grafiği
.....	70
Şekil 4.30 Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğuna Karşılık İletkenlik	Değişim
Grafiği.....	71
Şekil 5.1 Klasik Fenton ve Foto-fenton Oksidasyon Proseslerine Göre KOİ ve	TOK
Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması.....	73

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1 Nüve Nf 200 Laboratuvar Tipi Santrifüj Makinası	30
Resim 3.2 Ezdo Pl-700pv Marka Hassas Ph Metre	31
Resim 3.3 Mtops Ms300hs Marka Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı	32
Resim 3.4 Isıtıcılı Jsr Jss1-300c Marka İnkübatör	32
Resim 3.5 Osram Marka UV-C (254 Nm) Tipi Ultraviyole Lamba	33
Resim 3.6 UV Kabin	34
Resim 3.7 Thermo Aquamate Plus Marka Spektrofotometre	35
Resim 3.8 JSR JSOF-050 Marka Etüv	35
Resim 3.9 Bel Engineering Marka Analitik Hassas Terazî.....	36
Resim 3.10 Hach Lange Marka Termoreaktör	36
Resim 3.11 Hach Lange Marka Kit Okuma Cihazı	37
Resim 3.12 Hack Lange Hq 40d Marka Dijital Ölçüm Cihazı	38
Resim 3.13 Hazırlanan Çözeltiler	41
Resim 4.1 Klasik Fenton Prosesine Göre pH Optimizasyonu Deneyleri	49
Resim 4.2 Klasik Fenton Prosesine Göre FeSO ₄ Optimizasyonu Deneyleri	51
Resim 4.3 Klasik Fenton Prosesine Göre Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Optimizasyonu Deneyleri	53
Resim 4.4 Klasik Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Deneyleri.....	56
Resim 4.5 Foto-Fenton Prosesine Göre FeSO ₄ Optimizasyonu Deneyleri	61
Resim 4.6 Foto-Fenton Prosesine Göre Hidrojen Peroksit (H ₂ O ₂) Optimizasyonu Deneyleri	63
Resim 4.7 Foto-Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Deneyleri.....	66
Resim 4.8 Foto-Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğu Deneyleri.....	71

SİMGELER VE KISALTMALAR

H ₂ O ₂	: Hidrojen peroksit
Fe ⁺²	: Demir (II)
FeSO ₄	: Demir II Sülfat
OH	: Hidroksil radikali
O ³	: 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 ⁺³	: Demir (III)
O ²	: Oksijen
BOİ ₅	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı (5 günlük)
TOK	: Toplam Organik Karbon (İng.: TOC)
M	: Molar
Dk	: Dakika
İOP	: İleri Oksidasyon Prosesleri (İng.: AOP)
N	: Normal
Cu ²⁺	: Bakır (II)
Ag ⁺	: Gümüş (I)
Al ₂ (SO ₄) ₃	: Aluminyum sülfat
FeCl ₃	: Demir III klorür
TiO ₂	: Titanyum oksit
SO ₂	: Kükürt dioksit
Cr ⁶⁺	: Krom (IV)
Cr ³⁺	: Krom (III)
SO ₃	: Kükürttrioksit
SO ₄	: Sülfat
H ₂ O	: Su
K ₂ Cr ₂ O ₇	: Potasyum di kromat
λ	:Dalga Boyu (ışık)

1. BÖLÜM: GİRİŞ

Canlı varlıklara tesir eden dış etmenler çevreyi oluşturmaktadır. Endüstri devrimi sonrasında tüm dünyayı etkisi altına alan ekonomik büyüme yarışı neticesinde temiz su krizi ve diğer çevresel sorunlar baş göstermiştir [1]. Atıksuların arıtımı çevresel sorunların en başında rol oynamaktadır. Su kirliliğinin ana sebebi kullanılan suların arıtılmadan kontrolsüzce alıcı ortama deşarj edilmesinden ileri gelmektedir. Günümüze kadar bilindik fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtım teknikleri en çok tercih edilen klasik arıtma yöntemleri olmuşlardır. Mamafih çalışmalar sonucunda, bu klasik proseslerin yetersizliği ve yüksek işletme/kurulum maliyeti raporlanmaktadır [2]. Gerek Endüstriyel gerek evsel nitelikli atıksuların analizlerinde en çok karşılaşılan sorunlardan birisi; yüksek Toplam Organik Karbon (TOK) içeriklerine sahip olmalarıdır. Organik maddeler organik bileşiklerden meydana gelmektedirler. Organik bileşikler organizmalar tarafından sentezlenirler [1].

Yağlı tohumlardan bitkisel yağ imalatı esnasında rafinasyon işleminden çıkan atıksular birçok organikleri ve kimyasalları ihtiva ederler. Bu atıksular alıcı ortamlarda kirliliğe sebep olarak havanın suya girişimini engeller ve sucul ortama zarar verir [3].

Klasik Fenton prosesi; hidrojen peroksitin (H_2O_2) oksidasyonu ile demir (II) (Fe^{+2}) tuzunun katalizörlüğünde reaksiyon veren bir İleri Oksidasyon Prosesi olup arıtım sonrası $BOİ/KOİ$ oranını artırarak daha iyi bir arıtım sağlar [4, 5]. Klasik Fenton Proseslerinin icrati basit ifadeyle; pH değerlerini düşürülerek asidik ortamın oluşturulması, demir katalizörünün devreye alınmasına müteakiben hidrojen peroksit eklenmesi ve reaksiyonun sonuçlanması için optimum sürenin tamamlanmasından ibarettir. Fenton prosesine göre; Fe^{+2} ve H_2O_2 karışımının yapılmasına müteakiben, homojen reaksiyonun sağlanması ve ortam koşullarının tekrar bazik ortam değerlerine yükseltilerek çöktürme sağlanması amaçlanmaktadır [4, 6]. Çökelme işlemi sonrasında fenton çamuru atıksudan ayrılmaktadır. Klasik Fenton oksidasyon proseslerine etki eden (sıcaklık, reaksiyon süresi, demir iyonu derişimi/türü, hidrojen peroksit derişimi, ortam pH' sı vb.) birçok bileşen bulunmaktadır.

Klasik fenton oksidasyon prosesinin ve UV radyasyonun entegrasyonu ileri oksidasyon proseslerinden Foto-fenton prosesi olarak adlandırılmaktadır. Foto-fenton oksidasyon

prosesinde Klasik Fenton prosesine nazaran çok daha fazla hidroksil radikalleri üretilir ve organik kirlenmelerin giderimi daha hızlı gerçekleşir. Bununla birlikte Fe^{+2} ihtiyacı Klasik fenton prosesine göre daha az gereksinim duyulur [7].

Foto-fenton oksidasyon prosesi mikro organizmaların faaliyetlerine olumlu katkı sağlamakla birlikte TOK gideriminde oldukça etkili olduğu bilinmektedir [8].

Bu çalışmada; bitkisel hamyağ ve (ham yağ ve atık bitkisel yağdan) biyodizel üretim faaliyetleri sonucu oluşan yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuların Foto-Fenton oksidasyon prosesi ile arıtılabilirliği üzerine laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmanın ilk bölümünde endüstriyel atıksuyun arıtılmasında Klasik Fenton prosesi uygulanarak giderim verimi için optimum pH, $FeSO_4$ dozu, H_2O_2 konsantrasyonu ve arıtma süresi belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde ise atıksulara Foto-Fenton prosesi uygulanarak en uygun parametre koşulları (pH, doz, süre, Uv-c radyasyon yoğunluğu) belirlenmiş ve Klasik Fenton ile karşılaştırma yapılarak UV etkinliği ve benzer endüstrilerde kullanılabilirliği konusunda değerlendirilmeler yapılmıştır.

2. BÖLÜM: GENEL BİLGİLER

2.1. Atıksu Arıtımında Klasik Prosesler

2.1.1. Evsel Nitelikli Atıksular ve Klasik Arıtma Prosesleri

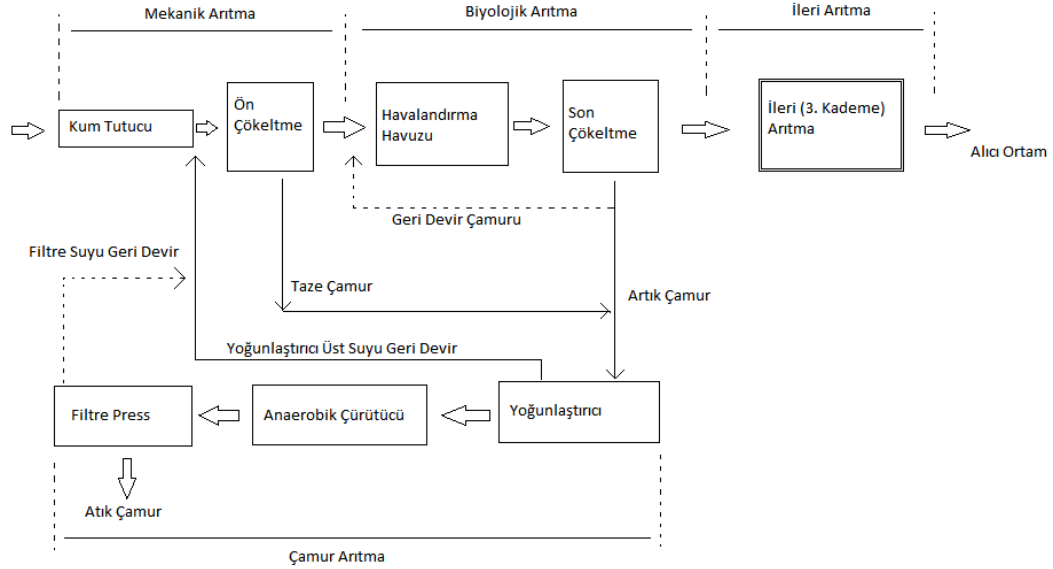
Evsel Atıksu; yaygın olarak yerleşim bölgelerinden ve çoğunlukla evsel faaliyetler ile insanların günlük yaşam faaliyetlerinin yer aldığı okul, hastane, otel gibi hizmet sektörlerinden kaynaklanan atıksular olarak ifade edilmektedir [9]. Tablo 2,1’de (genellemeyle) evsel nitelikli ham atıksu karakteristik özellikleri verilmiştir [10].

Tablo 2.1 Ham Evsel Nitelikli Atıksuyun Karaktersizasyonu [10]

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam Katı Madde (TKM)	mg/L	390	720	1230
Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM)	mg/L	270	500	860
Uçucu Çözünmüş Katı Madde (TUKM)	mg/L	110	200	340
Toplam Askıda Katı Madde (TAKM)	mg/L	120	210	400
Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM)	mg/L	95	160	315
BOI ₅ (20 °C)	mg/L	110	190	350
Toplam Organik Karbon (TOK)	mg/L	80	140	260
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	250	430	800
Toplam Azot	mg/L	20	40	70
Organik Azot	mg/L	8	15	25
Serbest Amonyak Azotu	mg/L	12	25	45
Nitrit	mg/L	0	0	0
Nitrat	mg/L	0	0	0
Toplam Fosfor	mg/L	4	7	12
Organik Fosfor	mg/L	1	2	4
İnorganik Fosfor	mg/L	3	5	10
Klorür	mg/L	30	50	90
Sülfat	mg/L	20	30	50
Yağ-Gress	mg/L	50	90	100
Uçucu Organik Bileşikler	mg/L	<100	100-400	>400

Evsel nitelikli atıksuların arıtımında klasik olarak; mekanik, biyolojik ve kimyasal proseslerin (ve/veya bunların) kombinasyonu ile arıtım sağlanmaktadır. Şekil 2.2’ de bu prosesler avam olarak temsil edilmiştir. İlk giriş yapısında fiziksel arıtım yapılarak yüzebilen ve/veya çökelme potansiyeline sahip maddeler, biyolojik ve kimyasal arıtımın uygulandığı ikinci kademedede (arıtımı mümkün olan) organik maddelerin arıtımı, son kademedede ise inert maddeler, azot ve fosfor giderimi sağlanır. Bu kademedede genellikle

Askıda Katı Maddelerin (AKM) giderimi de uygulanır. Bahse konu arıtım tesisinin iş akım şeması şekil 2.1’ de verilmiştir [11].



Şekil 2.1 Atıksu Arıtımı Ve Arıtma Kademeleri [11]

2.1.2. Endüstriyel Nitelikli Atıksular ve Klasik Arıtma Prosesleri

Evsel ve endüstriyel nitelikli atıksular oluşum şekli ve karakteristik özellikleri açısından birbirinden farklı atıksu tipleridir. Dolayısıyla arıtım prosesleride birbirinden farklılıklar göstermektedir.

Endüstriyel Atıksu; herhangi bir ticari veya endüstriyel faaliyetin yürütüldüğü alanlardan, evsel atıksu ve yağmur suyu dışında oluşan atıksular olarak ifade edilmektedir [9].

Tasnif edilmemiş endüstriyel nitelikli atıksuların alıcı ortama geliş güzel salınımı ile içeriğinde bulunan organik maddelerin ayrışmasıyla kötü kokulu gazlar oluşmaktadır. Bununla birlikte bu nitelikteki atıksular bünyelerinde patojenleri, nütrient (organizmalar için besi maddesi) kaynaklarını ve toksik özellikteki bileşinleride barındırabilirler. Bu sebeple bu atıksuların arıtımı büyük önem arz etmektedir [11]. Evsel atıksu arıtma tesislerinin aksine endüstriyel nitelikli atıksular efsafları gereğince daha iyi bir arıtım prosesine ihtiyaç duyarlar.

Sanayi kuruluşlarının endüstriyel faaliyetleri sonucu oluşan atıksularını herhangi bir arıtıma tabi tutmadan alıcı ortama verilmesi sonucunda su kirliliği (dolayısıyla çevre

kirliliği) meydana gelmektedir. Bununla birlikte klasik arıtım proseslerine tabi tutulan endüstriyel nitelikli atıksular dirençli kimyasalları ve inatçı organik kirleticileri gidermede yetersiz kalarak alıcı su ortamındaki canlıların dokularında birikme ve toksik etki gösterme eğilimindedirler. Sanayi kuruluşlarının faaliyetleri sonucu oluşturdukları atıksularının çevre üzerinde vereceği zarar ciddi boyutlarda olmaktadır [12]. Farklı endüstrilerin faaliyetleri sonucu oluşturdukları atıksuların karakteristik özellikleri tablo 2,2’de verilmiştir. Tablo 2,3’ de ise endüstriyel atıksuyun başlıca arıtım yöntemleri verilmiştir [13].

Tablo 2.2 Bazı Endüstriyel Atıksuların Kaynakları ve Özellikleri [13]

Endüstriler	Üretimde Atık Su Kaynakları	Atıkların Genel Karakteristikleri	Arıtma ve Bertaraf Metodu
Konserve endüstrisi	Meyve ve sebzeleri kesme, istifleme, koparma, ayırma, pressleme ve kabuğunu soyarak ağartma işlemleri	Yüksek askıda ve katı maddeler, kolloidal ve çözünmüş organik maddeler	Izgara, elek, havuzlar, toprak absorpsiyonu veya püskürtmeli sulama
Süt ve süt ürünleri Üretim endüstrisi	Sütün seyreltilmesi, ayrılmış süt, peynir suyu ve yayık ayranı	Yüksek çözünmüş organik madde protein, yağ ve laktoz	Biyolojik arıtma, damlatmalı filtre, aktif çamur, yükseltgeme hendeği
Et ve kümes hayvanları ürünler endüstrisi	Hayvan kesimi, yağ ve kemiklerin parçalanmasında yağ ve yıkama suyu	Yüksek çözünmüş ve askıda organik maddeler, proteinler ve yağlar	Izgara ve elekten geçirme, çökeltme ve yüzdürme damlatmalı filtrelerden geçirme
Şeker pancarından Şeker üretim endüstrisi	Pancarların taşınımı, yıkama ve presslenmesi sırasında oluşan sular, kireçlemeden sızan sular soğutmada yoğunlaşan su	Yüksek çözünmüş ve askıda organik maddeler, şeker ve protein	Atıkların yeniden kullanımı Pıhtılaştırma ve havuzlar
İlaç ve ecza ürünleri endüstrisi	Kullanılan süzülümüş madde ve yıkama suyu	Yüksek çözünmüş ve askıda organik madde, vitamin	Buharlaştırma ve kurutma, beslemede kullanma
Deri endüstrisi	Derinin kılının kazınması, ıslatılması, kirecini giderme, temizleme	Yüksek toplam katı madde, sertlik, tuz, sülfürler, krom, pH, BOİ ve çökelmiş kireç	Dengeleme, çökeltme ve biyolojik arıtma dengeleme ve kimyasal arıtma
Tekstil endüstrisi	Liflerin hazırlanması ve pişirilmesi, haşıl sökme sırasında oluşan atıklar	Yüksek derecede bazik, renkli, yüksek BOİ, yüksek askıda kolloidal ve çözünmüş katı madde	Nötrleştirme, kimyasal çökeltme, biyolojik arıtma, damlatmalı filtre, aktif çamur
Deterjan Üretimi endüstrisi	Deterjan ve sabunların temizleme ve yıkama suları	Yüksek BOİ ve sabun atıkları, yüzey aktif maddeler	Yüzdürme ve sıyırma, CaCl ₂ ile çökeltme
Kâğıt Üretimi endüstrisi	Pişirme, temizleme, liflerin yıkanması, kâğıt hamurunun süzülmesi	Yüksek veya düşük pH, renk, yüksek askıda kolloid ve çözünmüş katı maddeler, organik maddeler, fenol	Çökeltme, havuzlar, biyolojik arıtma, yan ürünlerin kazanılması
Çelik endüstrisi	Kömürün koklaşması, eritme fırınının yıkanması, baca gazları ve çeliğin asit ile temizlenmesi	Düşük pH, asitler, fenol, maden filizi, kok, kireç taşı	Nötrleştirme, geri kazanma ve yeniden kullanma, kimyasal pıhtılaştırma

Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan başlıca arıtım yöntemleri, tablo 2.3’de verilmiştir [13]

Tablo 2.3 Endüstriyel atıksuların arıtımında kullanılan başlıca arıtım yöntemleri [13]

Geleneksel Yöntemler		
Fiziksel Prosesler	Kimyasal Prosesler	Biyolojik Prosesler
Debi ölçümleri Izgaralar Ögütücüler Dengeleme Karıştırma Yumaklaştırma Çökeltme Yüzdürme Mikroelekler Gaz aktarımı Uçurma ve gaz ile sıyırma	Kimyasal çöktürme Adsorpsiyon (soğurma) Dezenfeksiyon Klor ile giderme Klor ile dezenfeksiyon Klordioksitle dezenfeksiyon Brom klorür ile dezenfeksiyon Ozon ile dezenfeksiyon	<i>Havalandırılmalı Süreçler</i> <ul style="list-style-type: none"> Askıda büyüyen süreçler Yüzeyde büyüyen süreçler Birleşik-askıda ve yüzeyde büyüyen süreçler <i>Oksijensiz Süreçler</i> <ul style="list-style-type: none"> Askıda büyüyen süreçler Yüzeyde büyüyen süreçler <i>Havasız Süreçler</i> <ul style="list-style-type: none"> Askıda büyüyen süreçler Yüzeyde büyüyen süreçler <i>Birleşik Havalandırılmalı-Oksijensiz Ve Havasız Süreçler</i> <ul style="list-style-type: none"> Askıda büyüyen süreçler Birleşik askıda ve yüzeyde büyüyen süreçler <i>Stabilizasyon (Yükseltgeme) Havuzları</i>
İleri Arıtma Yöntemleri (İOP)		
Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik
<ul style="list-style-type: none"> Mikroelekler Gaz aktarımı Uçurma ve gaz ile sıyırma Süzme Hava ile sıyırma Ultrafiltrasyon Ters osmoz İyon değiştirme Karbon adsorpsiyonu Elektro Pıhtılaştırma Elektro Yükseltgeme 	<ul style="list-style-type: none"> Kimyasal yükseltgeme Morötesi ışık ile kimyasal Yükseltgeme Kırılma noktası klorlaması Metal tuzları ile kimyasal Çöktürme Kireç ile kimyasal çöktürme 	<ul style="list-style-type: none"> Biyolojik nitratlaştırma Biyolojik nitratlaştırma/nitrat uzaklaştırma Biyolojik nitrat uzaklaştırma Biyolojik fosfor giderme Aktif çamur-toz aktif karbon

2.1.2.1. Bitkisel Yağ ve Biyodizel Üretim Endüstrisi Atıksuları

Yağlar; karbonhidrat ve proteinlerle birlikte canlılığın üç temel maddesinden biridir. Kimyasal olarak gliserin ve üç yağ asidinden meydana gelmektedir. Canlı organizmalarda enerji ve fiziksel bütünlük olarak temel göreve sahip yağlar bitkisel ve hayvansal temellidir. Hayvanların dokularında depolanan yağlar bitkilerin gövde, kök ve tohum kısımlarında bulunmaktadır. Mevcutta dünya genelinde mısır, ayçiçeği, pamuk, zeytin, kolza, haşhaş, soya, yer fıstığı, kenevir, keten, palm (hurma), Hindistan cevizi, meyveleri ile tahıllardan ve yağlı tohumlardan bitkisel yağ üretimi

gerçekleştirilmektedir. İklim şartları, hava durumu, pestisitler, hibrit tohumlar, topografik şartlar ve diğer sanayi kuruluşların etkileşimi sonucu yağlık materyallerden (tohum, meyve vs) karakteristik farklılıklar oluşmaktadır. Dolayısıyla bu yağlıklardan, yağ üretimi prosesleri sonucu oluşan atıksuların karakteristiği de farklılık göstermektedir. Üretilen yağlar başta yemeklik yağ endüstrisi olmak üzere birçok sektörde (örneğin; tekstil ve boya endüstrisi vb) kendine yer edinmektedir.

Yağ üretiminde, ham yağ üretiminden sonra yağın yenilebilir olması için rafinasyon işlemine tabi tutularak rafine yağ üretilmesi gereklidir. Rafinasyon prosesleri kompleks yapıda olup bir çok bağlayıcı ve çözücü reaktiflerin kullanıldığı, ısıl işlem ve presleme gibi birçok fiziksel işlemin gerçekleştiği entegre sistemlerdir. Dolayısıyla rafine işlemlerinin herbir kademesinde farklı efsaba ve miktara sahip atıksular meydana gelmektedir. Bitkisel yağların imalatında farklı rafinasyon prosesleri bulunmakta olup mevcutta; santrifüjlü sürekli nötralizasyon, Lauval kısa karıştırma prosesleri, Ultra kısa karıştırma prosesleri, zenith prosesi, clayton prosesi, miscella rafinasyonu, esterleşme ile serbest yağ asitlerinin indirgenmesi ve sıvı-sıvı ekstraksiyonları yer almaktadır [14]. Rafinasyon işlemlerinde fiziksel ve kimyasal işlemler uygulanmaktadır. Fiziksel işlemler genellikle soğutma, yıkama, eleme ve temizleme işlemleriyken, kimyasal işlemlerde nötralizasyonu, sabun solvent ekstrasyonu ve deterjan prosesleri yer almaktadır [15]. Rafinasyon prosesleri yağ asitlerinin nötralize edilmesi, degumming prosesinde yapışkan madde giderimi, deodarizasyon proseslerinde renk (ağartma) ve koku giderim bölümlerinden oluşmaktadır [16]. Nötralizasyon proseslerinde hamyağ, 75-90 °C arasındaki sıcaklıkta tutularak kostik çözeltisiyle yarım saat kadar muamele ettirilir. Bu aşamada hamyağın %10-20 kadar su prosese eklenir [17]. Akabinde absorban maiyetinde ağartma toprakları kullanılarak uzun zincirli hidrokarbon giderimleri sağlanır [18]. Bu işlem sonrasında ağartma toprakları, yağın %10 ile 25 kadarını absorbe ederek muhteviyatına dâhil etmektedir. Absorbe edilen bu yağ çözücü ekstraksiyon muamelesi ile yağ ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra yağ geri kazanımı yapılır. Su tüketiminin çokça yapıldığı bu ünite, geri kazanım işlemleri neticesinde atıksu oluşur [19].

Rafine yağ üretim prosesleri sonucu oluşan atıksular; proses suyu, soğutma suları, kazan suyu kaynaklı olarak endüstriyel nitelikli atıksulardan ileri gelmektedir [20].

Bu atıksuların miktarı ve evsafı prosese, üretim sıcaklığına, yapılan basınca, üretimde kullanılan materyal muhteviyatına bağlı olarak değişkenlik gösterir [21].

Genellikle rafine yağ endüstrisi atıksuları Çözünmüş organikler, BOİ₅, TOK, KOİ, yağ-gres, TKM, sıcaklık, pH değerleri dikkat edilmesi gereken parametrelerdir. Bununla birlikte koliform bakteriler, sıvı yağ üretim sektöründen çok doymuş yağ üretim endüstrisinin önemli parametrelerinden biridir [20]. Evsel nitelikli atıksularda yağ-gres konsantrasyonu 30-50 mg/L arasındayken yağ üretim endüstrisi atıksularında bu değer 1000 mg/L değerlerini bulmaktadır [22]. Arıtımı yapılmamış yağ fabrikalarında ise ortalama olarak 2000 mg/L seviyelerine ulaşabilmektedir [23]. Bu endüstrilerden oluşan atıksuların çoğu koku giderme (deodorizasyon) işlemleri esnasında kullanılan soğutma sularından meydana gelmektedir [20].

Biyodizel; bitkisel, hayvansal yağlar, kullanılmış pişirme yağları ve hatta algler gibi yenilenebilir kaynaklarının, kısa zincirli bir alkolle reaksiyonu sonucu ortaya çıkan dizel yakıtı alternatif bir yakıt türüdür [24]. Bilindiği üzere atık yağlar çevre üzerinde toksik etki gösterebilme eğilimindedirler. Atık yağlar kullanımları sonucunda veya yağ üretim prosesleri atıksuları ile birlikte alıcı su ortamına geçmektedirler. Yağların özgül ağırlığının (yoğunluğunun) sudan küçük olması vesilesiyle alıcı ortam su yüzeyini kaplamakta ve yüzey üzerinde oluşturduğu film tabakasıyla oksijenin ve güneş ışınlarının tabana geçirimini engellemektedir. Bununla birlikte atıkyağların lavaboya dökülmesiyle birlikte kanalizasyon sistemi içerisinde birikmelere ve dolayısıyla sistem tıkanıklıkları vesilesiyle kullanılmaz hale gelmesine öncülük etmektedir. Ülkemizde kullanılmış atık yağların lavaboya dökülmesi Çevre Kanunu ve beraberinde çıkartılan (R.G.; 06.06.2015/29378 Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği vb.) yönetmeliklerce yasaklanmış olup, belediyelerce toplamaya yönelik teşvik çalışmaları yürütülmektedir. Toplanan atık yağların en uygun geri kullanım alanlarından birisi yakıt katkı maddesi (biyodizel) olarak enerji geri kazanımında kullanılmasıdır.

Bu çalışma konusunu oluşturan endüstri tesisi Mersin İlinde bulunmakta olup bitkisel ham yağ, rafine yağ ve (ham yağ ve bitkisel atık yağdan) biodizel üretim faaliyetleri icra edilmektedir. Örnekleme yapıldığı tesiste; ham yağdan biyodizel üretimi faaliyeti mevcut olup çevreci bir adım atarak kullanılmış bitkisel atık yağlardan da biyodizel üretim faaliyeti yapılmaktadır. Bu çevreci faaliyeti ile hem çevre kirliliğinin azaltımına

katkı sağlanmakta hemde çevreci yakıt imalatı ile enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Buna karşın biyodizel yakıtının önemli bir dezavantajı mevcuttur. Biyodizel üretimi sırasında kullanılan transesterifikasyon prosesi sonucunda oluşan atıksular yüksek oranda organik madde ihtiva etmektedir. Biyodizel atıksuyunun kirlilik parametreleri incelendiğinde KOİ değeri 300000-400000 mg/L, TOK değeri 54000-110000 mg/L, Yağ-Gres 17000-25000 mg/L, metanol 15000-6000mg/L ve gliserin 800-1500 mg/L değerleri karşımıza çıkmaktadır [25].

2.2. Atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Prosesleri

Atıksu arıtımında ekonomik olması vesilesiyle geleneksel yöntemler tercih edilmekte olup biyolojik proseslere ağırlık verilmektedir. Mamafih özellikle endüstriyel nitelikli atıksularda toksik ve kalıcı etki gösteren organik ve kimyasal bileşiklerin varlığı dolayısıyla ortamda (biyolojik proseslerde bulunan) mikroorganizmalar olumsuz etkilenecek vazifelerini icra edemeyebilmektedirler. Genellikle bu tipteki atıksuların BOİ/KOİ oranı çok düşük olmasından mütevellit biyolojik arıtımın yerine dahi iyi arıtım seçenekleri düşünülmelidir. Bu tip arıtma proseslerinde fizikokimyasal yöntemler (örneğin koagülasyon-flokülasyon, aktif karbon absorpsiyonu vs) etkilidir mamafih kirleticilerin ortam değişimlerine karşı etkisiz oluşları nedeniyle tercih edilmemektedir. Tam da bu noktada biyolojik arıtım prosesi öncesinde organik kirleticileri azaltmak maiyetinde ileri oksidasyon prosesleri uygulanmaktadır.

İOP birçok farklı yapıdaki, gerek organik gerekse inorganik kirlerticilerin gideriminde en etkili prosesler olması vesilesiyle klasik arıtım proseslerinden daha yüksek verim kapasitesine sahip arıtma prosesleridir. Bununla birlikte en önemli tercih sebeplerinden birisi de arıtma sürelerinin klasik arıtım proseslerine göre daha kısa olmasıdır [26]. İOP' lerinin hemen hepsinde $\cdot\text{OH}$ radikalleri, organiklerin yıkımında başrol oynamaktadır [27]. İOP arıtma yanında dezenfektan özelliklerine de sahiptirler [26,29]. Atık sularda organik ve inorganik kirleticilerin arıtımı için İOP' ler uygulanmaktadır [26,30]. İOP son ürün olarak çevre üzerinde zararlı özellik göstermeyen son ürünleri oluşturmaktadır [31]. İOP' ler atıksu arıtımına istinaden araştırmalara konu olan ve sürekli geliştirilen arıtma yöntemleridir [32]. İyi bir arıtma yöntemi olması vesilesiyle genellikle TOK giderim için İOP yöntemleri uygulanmaktadır [33]. İlerleyen bölümlerde değinildiği üzere bu hususta yapılan araştırmalar organik madde gideriminde ileri oksidasyon

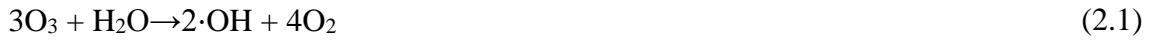
proseslerinin etkinliğini kanıtlanmıştır. $\cdot\text{OH}$ radikalleri gerek homojen gerekse heterojen ileri oksidasyon prosesleriyle üretilmektedir. Ultrasonik oksidasyonlar, UV radyasyonu oksidasyonları, klasik ve bileşik Fenton Prosesleri İOP' lar içerisinde önemli yere sahiptir.

2.2.1. Hidroksil Radikal Bazlı İleri Oksidasyon Prosesleri

Hidroksil radikali, atıksu arıtımında yükseltgen potansiyeli 2,8 V (pH 0) ile 1,95 V (pH 14) arasında ve SCE 'e karşı (doğgun kalomel elektrodu, en uygun kullanılan referans elektrot) en reaktif yükseltgen maddesidir [34]. $\cdot\text{OH}$ davranımlarında çok seçici değildir ve $10^8 - 10^{10} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ hız sabiti ile sayısız tür ile hızlıca reaksiyona girer. Hidroksil radikalleri organik kirleticiler ile reaksiyona girer [35]. Uygulama süresi boyunca yükseltgenme ajanlarının birleşimini içeren (örneğin; H_2O_2 ve O_3 gibi), UV radyasyonu, ultrason ve (Fe^{2+} vb.) katalizör yöntemleri sayesinde üretilirler [36].

2.2.2. Ozon Bazlı İleri Oksidasyon Prosesleri

Ozon (O_3), 2,07 V SCE'e karşı yükseltgenme özelliğiyle kuvvetli bir yükseltgendir. Mamafih doğrudan O_3 oksidasyonu seçici bir reaksiyondur. $\cdot\text{OH}$ oluşumunu içeren kapsamlı reaksiyon aşağıdaki gibi belirtilmiştir [37].



Başka yükselgen ortamında, $\cdot\text{OH}$ miktarı yükseltilebilir. Misal peroxone ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$) adlı sistemde, O_3 bozunması ve $\cdot\text{OH}$ üretimi, H_2O_2 bozunmasından üretilen (HO_2^-) hidroperoksit ile geliştirilmiştir. O_3 /ultraviyole(UV) ışınmasında, O_3 fotolizi aracılığıyla ilave birincil oksidant olan H_2O_2 üretilir. Reaksiyon şu şekildedir;



Sonuçta $\cdot\text{OH}$ radikali aşağıdaki yöntemlerle üretilebilirler,

1. Ozonlama
2. $\text{O}_3 / \text{H}_2\text{O}_2$
3. H_2O_2 ' nin fotolizi ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{UV} \rightarrow 2 \cdot\text{OH}$)

UV prosesleri duruma göre yükseltgen (H₂O₂ ya da O₃) ilavesiyle, homojen bir ortamda yâda yarı iletken partiküller ihtiva (örneğin TiO₂) eden heterojen ortamda gerçekleşebilmektedir [38].

2.2.3. UV Radyasyonu/Hidrojen Peroksit (UV/H₂O₂) Prosesi

H₂O₂ reaksiyonlarda iyi yükseltgendir. Ultraviyole radyasyonu, oksidan bir molekülü parçalaması sırasında oluşan serbest radikaller daha enerjik yükseltgenlerdir [39]. H₂O₂, UV radyasyonuna maruz kaldığında fotokimyasal olarak kararsızdır. H₂O₂'in UV radyasyonu ile \cdot OH radikalinin oluşturması şu şekilde formüle edilebilir;



2.2.4. UV Radyasyonu / Ozon (UV/O₃) Prosesi

Ozonun, su ortamında UV radyasyonu fotoliziyle, \cdot OH radikali elde etmek üzere UV ışığı ya da O₃ ile reaksiyona giren H₂O₂ oluşmakta olup reaksiyonun devamı aşağıdaki formülde gösterildiği gibi gerçekleşmektedir [40].



2.2.5. Homojen (Klasik) Fenton Prosesleri

H₂O₂ ve Fe⁽⁺²⁾ katalizör çözeltisi H.J.H. Fenton tarafından bulunmuş olup Klasik Fenton prosesleri ismi buradan ileri gelmektedir [41]. Fenton 1894 yılında oksitleyici bulunan ortamlarda demir iyonlarının oksitleme potansiyelinin yüksek olduğunu belirlemiştir [41]. Fenton prosesi reaksiyon aşamaları aşağıdaki denklemlerde görülmektedir [42].





Üretilen Fe^{+3} iyonları, hidrojenperoksitle (H_2O_2) reaksiyon oluşturarak Fe^{+2} iyonunu oluşturur [43]. Alifatik bileşiklerse hidrojeni uzaklaştırır [44]. Bunun haricinde reaksiyonlar sırasında Fe^{+2} iyonları yenilenebilir [45].

Klasik fenton oksidasyon prosesleri; organik kirletici maddelerin oksidan varlığında reaksiyon vermesinden ibarettir[46].

Yapılan çalışmalar neticesinde; sanayi atıksularına klasik arıtma yöntemleri uygulanarak yüksek TOK giderimi sağlamanın zor olduğu sonucuna varılmaktadır [47]. İOP, TOK giderimi hususunda en çok verim alınan arıtma yöntemi olduğu bilinmektedir [48].

Klasik fenton prosesinde; organik bileşiklerin hidroksil radikalleri ile oksidasyonu muazzam derecede seridir ve nihai ürün olarak karbondioksit ve suya dönüşmesiyle nihailenir [49].

Bazı oksidanların, oksidasyon özelliği tablo 2.4'de verilmiştir. Flor gazı diğerlerinden daha yüksek oksidan özelliğine sahip olmasına karşın zehirleyici potansiyeli sebebiyle arıtmada kullanılmaları sakıncalıdır [50].

Tablo 2.4 Bazı Oksidanların Oksidasyon Potansiyelleri [36]

Oksidanlar	E^0 (Volt)
F_2	3,03
$\cdot\text{OH}$	2,80
O	2,42
O_3	2,07
H_2O_2	1,77
KMnO_4	1,67
Cl_2	1,36
ClO_2	1,50
O_2	1,23
Br_2	1,09
HClO	1,49

2.2.6. Heterojen Fenton Prosesleri

Homojen fenton prosesleri, Heterojen fenton proseslerine göre daha çok katalitik çamur meydana getirirler. Heterojen fenton proseslerinde Fe^{+2} iyonları katalizör yapısında çamur oluşumuna daha az sebep olur [51].

Heterojen fenton prosesi reaksiyonunda hidroksil oluşumu Fe^{+2} ve H_2O_2 derişimine bağılı olarak değişkenlik gösterir[52]. Heterojen fenton proseslerinde katalizör olarak çoğunlukla Fe^{+2} kullanılmakta olup doğada demir elementleri içeren çeşitli maddelerin yapısında bulunur [53, 54]. Heterojen fentonun ışık varlığında gerçekleşmesi fotokatalitik prosesler olarak adlandırılır. Burada katalizör görevini yarı iletken metal oksitler üstlenir [55]. Bunların başında TiO_2 , ZnO , CuO , ve $(SrTiO_3)$ arıtımda en çok kullanılan katalizörlerdir. Tablo 2.5’de en çok kullanılan katalizörler gösterilmektedir.

Tablo 2.5 Son Yıllarda Kullanılan Katalizörler

Kullanılan Katalizör	Atıksu/Organik Bileşik	Kaynak
$FeCl_3$	Zeytinyağı endüstriyel atıksuyu	[56]
Sülfürik asit/demir ile modifiye edilmiş zeolit	Melas atıksuyu	[57]
Amorf Fe-Zn-oksit/hidrokarbon katalizörü	Rhodamine B (RhB), metilen mavisi, antipirin ve fenol	[58]
Ticari Fe_eO_3 ve sol-jel ile sentezlenmiş Fe_eO_3 , TiO_2 ve $Fe_2O_3 - TiO_2$	Siprofloksasin, sülfamoksazol ve trimetoprim	[58]
Pirit (FeS_2)	C.I. Reactive Orange 29	[59]
Fe/CuO	Tekstil endüstrisi atıksuyu	[60]
Toz aktif karbon ile immobilize edilmiş manyetit	Tetrasiklin antibiyotik	[61]
Fe_2O_4/Pd	Pentaklorofenol	[62]
Goetit	Metil oranj	[63]
Demir yüklenmiş ZSM-5	Asetik asit	[64]
$Cu_{0,3}Fe_{2,7-x}Ti_xO_4$	Baca gazından Hg	[65]
CuO , $CuO/Glisinin$ $CuO/Glutamik asit$ $CuO/Arjinin$	Nitrobenzen	[66]
$ZnFe_2O_4$	Benzotriyazol	[67]
Manyetit, Nb yüklenmiş manyetit ($Fe_{3-x}Nb_xO_4$) ($x=0;0,022;0,049;0,099;0,19$)	Metil mavisi	[53]
$Co_xMn_{3-x}O_4$	Organik boya	[68]

Laterit	C.I. Acid Red 17	[69]
Manganez aljinat jel boncukları (Mn-AB) Demir aljinat jel boncukları (Fe-AB) Demir yüklenmiş aktif karbon (Fe-AC)	Acid Orange 7 Şarap fabrikası endüstrisi atıksuyu	[70]
Pirit (FeS ₂)	Azo boyar madde	[71]
Demir yüklenmiş bentonit	Rodamin B	[72]
Fe ₂ O ₃ /Al ₂ O ₃	Fenol	[73]
CuFe ₂ O ₄	Gliserol	[74]
Grafit oksit-Fe ₃ O ₄	Acid Orange 7	[75]
KOH içeren alümina	Gliserin endüstrisi	[76]
kalsiyum oksit-manyetit	Atık yağlardan biyodizel	[77]
kitosan biyopolimeri	Biyodizel endüstrisi	[78]
sodyum hidroksit ve potasyum hidroksit	Pamuk yağı endüstrisi	[79]
NaOH ve KOH	Kanola Biyodizel endüstrisi	[80]
p-nitrofenolün	Heterojen Fenton Benzeri prosesler	[81]
Manyetik Fe/Fe ₃ O ₄ /kok	Heterojen Fenton Benzeri prosesler	[82]
Manyetik Fe ₃ O ₄ NPs	Heterojen Fenton Benzeri prosesler	[83]
Fe ₂ O ₃ ve kömür uçucu külü	Heterojen Fenton Benzeri prosesler	[84]
Fe NPs	Heterojen Fenton Benzeri prosesler	[85]
Fe/AC kompozit malzemesi	Heterojen Fenton Benzeri prosesler	[86]
Fe-ZnNPs/C kompozit malzemesi	Heterojen Fenton Benzeri prosesler	[87]

2.2.6.1.Elektro-fenton Oksidasyon Prosesi

H₂O₂, katyonik oksijenin elektrokimyasal indirgemesi ile üretilir ve Fe⁺² iyonlarının ilavesi ile oksidasyon gerçekleştirilir.

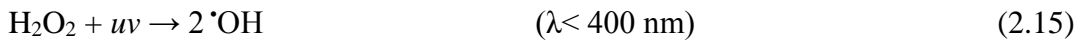
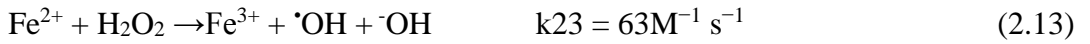
2.2.6.2.Sonofenton Oksidasyon Prosesi (Ultrasonik Oksidasyon)

İnsan kulağının duyamayacağı frekanslardaki ses dalgaları ultrases olarak adlandırılmaktadır. Fenton proseslerinin ultrases ortamında uygulanmasıyla sonofenton prosesleri meydana gelmektedir.

2.2.6.3.Foto-Fenton Oksidasyon Prosesi

Işık radyasyonu ortamında uygulanan Klasik Fenton oksidasyonu genel anlamda Foto-fenton oksidasyonu prosesleri olarak adlandırılır. UV radyasyonu ile oksitleme potansiyeli artırılabilir. UV insan gözünün görebileceği ışık dalgasının altındaki ($\lambda=100-390$ nm aralığı) dalga boyu içerisinde (mor ötesi).

Foto-fenton prosesinde H₂O₂, doğrudan Fenton reaksiyonu, Fe⁺³ iyonlarının Fe⁺² iyonlarına foto indirgenmesi ve H₂O₂'in fotolizi olarak adlandırılan, eş zamanlı üç reaksiyon ile çok hızlı bir şekilde tüketilir. H₂O₂ ve Fe⁺² kombinasyonu denklemde gösterildiği gibi stokiyometrik olarak [•]OH vermek suretiyle aşağıdaki gibi reaksiyona girer:



Yukarıdaki reaksiyon ensasında Fe⁺² iyonları organik kirlenici varlığında H₂O₂ ile reaksiyona girerek [•]OH radikalleri nihai ürünlerini oluştururlar [89]. [•]OH radikali ile yavaş reaksiyona giren bileşikler Foto-fenton prosesinde, ışığın büyük kısmı H₂O₂ tarafından absorblandığı sürece, [•]OH radikalının üretilmesi için güç tüketimi düşük olduğundan işletme masrafları da düşük olacaktır [90]. UV ışık varlığında daha az Fe⁺²/Fe⁺³ ihtiyaç duyulması Foto-Fenton prosesini diğer İOP' lere göre daha avantajlı hale getirmektedir [91].

2.2.6.3.1. Foto-Fenton Proseslerini Etkileyen Faktörler

i. Demir İyonu Etkisi

Fe^{+2} konsantrasyonunun Fenton reaksiyonlarının hızında ve verimliliğinde tamamlayıcı rol oynadığı bilinmektedir [92]. Reaksiyonlar içinde bulunan reaktiflerin derişiminin fazlalığı yâda azlığı reaksiyon üzerinde olumsuz etkilerde bulunduğu bilinmektedir [93]. Bu sebeple doğru derişimi tespit etmek arıtma verimini artırmanın yanı sıra maliyeti de düşürmektedir [94]. Belli bir noktaya kadar Fe^{+2} iyonlarının derişiminin artırılması -OH radikali üretim hızını artırır [95]. Buna karşın fazla Fe^{+2} derişiminin varlığı reaksiyon hızını azaltmasının yanı sıra askıda Fe^{+2} çamuru oluşumunu tetikler [96]. Bu durumda Fe^{+2} çamurları meydana gelir ve ek arıtım maliyetini gerektirir.

Aşağıdaki reaksiyon temsilinde de görüleceği gibi; Cl_2 veya SO_4^{2-} tuzlarının varlığında, yüksek hızlı uygulamalarında Cl_2 oluşumu dışında başka bir olumsuzluğa yol açmaz [97]. Bu reaksiyon şu şekildedir;



Sonuç itibariyle demir konsantrasyonu tüm fenton oksidasyon proseslerinde önemli bir etkiye sahip olup optimum Fe^{+2} dozajının belirlenmesi organik kirleticilerin gideriminde önem arz etmektedir [98].

ii. pH Etkisi

Yapılan çalışmalar optimum pH değerinin 3 olduğunu göstermekte olup pH 3' ün altındaki asidik ortamlarda, Fe^{+2} iyonlarının hidroksil -OH radikali üretimi azalmaktadır [5]. Bunun sebebi Fe^{+2} iyonlarının özellikle pH 5 değerinin üzerine çıkmasıyla -OH radikalleri yerine hidroksil kompleksleri üretmeleriyle H_2O_2 bazik koşullarda bozunarak oksidasyon kabiliyetini kaybetmesidir [99].

Bu sebeplerden ötürü en uygun pH değerinde çalışılması proses verimliliğini olumlu yönde etkileyecektir [47].

Çözeltilerin pH değerleri, organik maddelerin oksidasyonunu etkilemektedir. Endüstriyel atıksuların arıtımında düşük pH (3-5 aralığı) uygulanan Foto-fenton

proseslerinin etkili olduğu bilinmektedir. Örneğin tekstil sanayi atıksuyunda renk ve toksik madde gideriminde etkili olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur [101].

pH 5 üzerinde TOK bozunma hızı düşmeye başlamasıyla Foto-fenton veriminde de düşüş gözlenir [102]. pH değeri 5 değerinin üzerine çıkmasıyla KOİ giderim veriminde de düşüş yaşandığı bilinmektedir[103].

pH etkinliğini en güzel anlatan çalışmalardan birisi Muruganandham ve Swaminathan, 2004 yılında yaptıkları çalışmada görülmektedir. Bu çalışma kapsamında; farklı pH değerlerinde, tekstil atıksuyunda renk giderimi denemişlerdir. Sonuç itibariyle pH 1 değerindeyken %9 olan verim pH 3 te %96 yükselmiş, pH 7 ise % 7' ye düştüğünü bildirmişlerdir [104].

iii. Oksidan (H₂O₂) Derişiminin Etkisi

Foto-fenton oksidasyon prosesi çalışmalarında H₂O₂ derişimin reaksiyona dâhil edilmediği ve UV_c radyasyonu altında yapılan arıtım deneylerinde KOİ ve TOK giderim veriminin çok düşük olduğu bildirilmektedir [105].

Yüksek dozlardaki H₂O₂'in proses verimi üzerindeki olumsuz etkisinin, H₂O₂'in hidroksil tutucu etkisinden kaynaklandığı (aşağıdaki eşitlikte görüleceği üzere) belirtilmiştir [104].



H₂O₂ dozajının fazlalığı Fenton oksidasyonlarında olumlu etkisinin olduğu bilinmekle birlikte fazlalığı KOİ artması vesilesiyle istenmemektedir. Bu sebeple; H₂O₂ dozajı ve derişimi, tüm miktarın kullanılacağı şekilde belirlenmelidir [106].

iv. Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklık; Fenton reaksiyonlarının etkileyen parametrelerden birisidir. 20 °C altındaki sıcaklıkta reaksiyonu yavaşlatıcı bir etki olduğu bilinmekle birlikte özellikle 40 C⁰

sıcaklık üzerine çıkmasıyla H₂O₂ üzerinde bozundurucu etki yapması vesilesiyle istenmeye durumları oluşturur [99].

v. Reaksiyon Süresinin Etkisi

Yapılan çalışmalarda reaksiyon süresinin oksidasyon potansiyelini olumlu bir etki yaptığı bilinmektedir [107].

Reaksiyon süresi kirletici yoğunluğu ve İOP tercihinine göre değişkenlik göstermekle birlikte KOİ giderimi için reaksiyon süresi optimum 2-4 saat aralığında olduğu bildirilmektedir [108].

vi. Kirletici Konsantrasyonunun Etkisi

Kirletici derişimi yoğun olan ortamlarda, H₂O₂ konsantrasyonunun sabit kalması oksidasyon verimini düşürdüğü bildirilmektedir[109].

vii. Işık Akısının Etkisi

UV radyasyonu ışık türü Foto-fenton oksidasyon proseslerini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Literatürde farklı türde ışık radyasyonu ile yapılan çalışmalar göstermektedir ki en iyi giderim verimi UV-c (254 nm) altında gerçekleşmektedir [110, 111, 112].

2.3. Literatür Özetleri

N. Şen ve arkadaşlarının; evsel atıksulardan toplam organik karbon (TOK) gideriminin Foto-fenton prosesi ile incelenmesi üzerine yaptıkları çalışma neticesinde; Foto-fenton oksidasyon yöntemiyle, gerçek atıksuyun TOK değerinin azaldığı ve mikroorganizma miktarının tamamen yok olduğunu bildirmişlerdir [8].

N. Tanattı biyodizel atıksularının elektrokoagülasyon ve ileri oksidasyon prosesleri ile arıtılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada; ön arıttımdan geçirilen biyodizel atıksuyunun, kesikli Foto-fenton oksidasyonu tabi tutulmasına mukabil KOİ giriminde %98,7, TOK gideriminde %97,1 verim elde edildiği sonucuna varıldığını bildirmiştir. [25].

Oktav ve arkadaşlarının zeytinyağı endüstrisi atıksularının ileri oksidasyon proseslerinden Foto-fenton prosesi ile arıtma verimini irdelemişlerdir. Bu çalışma

kapsamında değişken derişimlerde H_2O_2 ve $FeSO_4$ ilave dilerek pH 3,5 değerinde çalışma yapmışlardır. 4 saat reaksiyon süresi ile 50 mg/L $FeSO_4$ ve 100 mg/L H_2O_2 dozlarında KOİ giderme verimi %70 olarak raporlamışlardır. Diğer kimyasal oksidasyon yonemleri kullanılarak yapılan kimyasal oksidasyon denemelerinde elde edilen verimler; hava ile oksidasyonda %33, H_2O_2 ile oksidasyonda %41, katalitik oksidasyonda %44, HCl ile oksidasyonda %45, $KMnO_4$ ile oksidasyonda %56 olarak raporlamışlardır. Sonuç olarak zeytin endsutrisi atıksuları için en iyi giderim verimini Foto-fenton prosesi ile elde ettiklerini bildirmişlerdir [113].

Monteagudo ve arkadaşlarının, 2005 yılında zeytinyağ endüstri atıksularında bulunabilen fenolik bir bileşik olan r-kumarik asit'in Foto-fenton oksidasyonu irdelenmiştir. Asidin degradasyonu pH 2 değerinde tutularak gerçekleştirilmiştir. R-kumarik asidin bozunmasının, UV, Fenton reaktifi ve ozon kombinasyonu ile hızlandırılabilereği görldüğü gibi UV/Fenton/O₃ prosesi ile asidin reaksiyon oranı H_2O_2 ve Fe^{+2} iyon konsantrasyonuna bağlı olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak; optimum dozlarda Fenton reaktifleriyle ve pH 2 değerinde gerçekleştirilen UV/Fenton/O₃ prosesinde %77 oranında bozunma olduğunu bildirmişlerdir [114].

Canizares ve arkadaşları 2007 yılında zeytinyağı endüstrisinden kaynaklanan atıksuların ileri oksidasyon prosesleriyle arıtımını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada ileri oksidasyon proseslerinden iletken-elmas elektrooksidasyonu, ozonlama ve Fenton oksidasyonu ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları Fenton çalışmalarında atıksuya Fe^{+2} katalizoru ilave edilmiş, pH değeri 3'e indirgenmiş ve H_2O_2 eklemesi yapılmıştır. Arıtım prosesleriyle atıksuyun tam bir mineralizasyonuna ulaşılamamış ve atıksuda TOK oranının yüksek düzeyde kaldığı görölmüşür. Fenton prosesiyle ulaşılan maksimum KOİ giderim verimini %70 olarak bildirmişlerdir [115].

Saeed ve arkadaşlarının 2015 yılında yaptıkları çalışmada; biyolojik olarak parçalanması zor organik kirleticiler muhteviyatına sahip palm (hurma) yağı atıksuyunun arıtımı için Klasik Fenton prosesini incelemiştir. pH 3,5 değerinde, 30 dakika reaksiyon süresiyle % 97,36 renk ve % 91,11 KOİ giderim verimi olduğunu bildirmişlerdir [116].

Saeed M. O. ve arkadaşlarının 2015 yılında palm yağı (hurma yağı) üretim prosesi atıksuları klasik Fenton prosesi ile arıtım üzerine yaptıkları çalışmada; pH 3 değerinde, 90 dakikalık reaksiyon süresi ile KOİ giderim verimi %85 olarak bildirmişlerdir [117].

Abou-Elela ve arkadaşlarının 2016 yılında keten yağı endüstrisi atıksuyu üzerinde Fenton oksidasyonu prosesi ile yaptıkları arıtma çalışmalarında KOİ, AKM, yağ-gres giderim yüzdeleri sırasıyla %98,60, % 86,60 ve % 94,22 olarak bildirmişlerdir [118].

Tahir A. H. F. ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada bitkisel ham yağ üretim sektörlerinden kaynaklı atıksulardan en iyi KOİ giderim verimi için optimum koşulların belirlenmesi amacıyla Foto-fenton oksidasyon prosesi araştırılmıştır. Yaptıkları deneyler sonucunda; 30 °C sıcaklıkta, pH 3 değerinde, 60 mg/L Fe₂SO₄.7H₂O karşılık 800 mg/L H₂O₂ konsantrasyonuyla, UV radyasyonu altında, 180 dakika reaksiyon süresiyle KOİ verimi %80,59 (2684 mg/L' den 521 mg/L' ye indirgenmesiyle) olduğunu bildirmişlerdir [119].

Aola H. F. Ve arkadaşları 2016 yılında yapılan çalışmada; sentetik bitkisel ham yağ üretim atıksularının Foto-fenton Oksidasyon prosesi ile KOİ giderim verimi araştırılmıştır. pH 3 değerinde, 30 °C sıcaklıkta, H₂O₂ 800 mg/L, Fe₂SO₄.7H₂O 60 mg/L konsantrasyonlarında, UV radyasyonunda KOİ giderim verimi %80,59 olarak bildirmişlerdir [120].

Garcia ve Hodaifa, yüksek TOK ve fenolik bileşik ihtiva eden zeytin yağı endüstrisi atıksuyunun Foto-fenton oksidasyon prosesi arıtımı ile yaptıkları çalışma sonucunda; pH 3 değerinde, 20 °C sıcaklıkta FeCl₃ katalizör derişimini 3 g/L optimum değerinde %90 arıtma verimi olduğunu bildirmişlerdir [121].

Davarnejad R. ve Mohajerani S. A. tarafından 2018 yılında bitkisel yağ üretim endüstrisi atıksuları üzerine yaptıkları çalışmada; üretim esnasında yüksek KOİ içerikli ve hidrasyon, nötralizasyon-sitrik asitle muamele ünitlerinden kaynaklı bazı kirletici kimyasalları ihtiva etmesi gereğince geleneksel arıtımın yetersiz olduğunu ve ileri oksidasyon prosesi uygulanması gerekliliğini vurgulamışlardır. Yaptıkları bu çalışmada bahse konu atıksulardan demir elektrodu kullanarak, 98,33 dakikalık reaksiyon süresinde, pH 3.03 değerinde, akım yoğunluğu 57 mA/cm², 1 litre atıksu için

2,13 ml derişimde H_2O_2 kimyasal sarfiyatı ile H_2O_2/Fe^{+2} oranı 3,61/1 olacak şekilde ayarlandığında %62,94 oranında KOİ giderim verimi olduğunu bildirmişlerdir [122].

N. Torres ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada; Biyodizel üretim endüstrilerinin üretim faaliyetleri sonucunda yüksek TOK içerikli atıksuların Brezilya hükümetinin (430/2011) belirlediği TOK kirliliği parametresini deşarj limitlerini sağlaması için, pH 6,5 değerinde sabit pıhtılaştırma (flokülasyon) ve elektrokimyasal oksidasyonu (bor katkılı elmas ve NaCl elektrot kullanarak) yöntemi entegre edilerek arıtım denemişlerdir. Yaptıkları bu çalışma neticesinde yüksek TOK içerikli atıksulardan %78,5 oranında TOK giderim verimi sağladığını bildirmişlerdir [123].

Liu X. ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada; atıksularda kalıcı organik kirleticilerin bozulmasına bağlı olarak ortaya çıkan antibiyotik kirleticilerinin arıtımı için avantaj, etki ve maliyet açısından değerlendirme çalışması yapmışlardır. Bu çalışma neticesinde; Elektro-fenton ve Foto-fenton oksidasyon proseslerinde antibiyotik kirleticilerinin ortadan kaldırılması için en verimli ileri oksidasyon prosesleri olduğu sonucunu bildirmişlerdir [124].

Zhai J. Ve arkadaşlarının 2018 yılında, Yüksek TOK içerikli doğal gaz üretim atıksuları örneklerinin üzerinde yaptıkları çalışmada ileri oksidasyon proseslerinden Fenton, Ultrasonik-fenton ve Foto-fenton oksidasyon prosesleri kaşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; 60 dakika reaksiyon süresiyle, pH 3 değerinde, Fe^{+2}/H_2O_2 oranı 1/25 olacak şekilde optimum koşullarda; klasik Fenton prosesine göre KOİ, TOK, BOI_5 ve renk giderim verimi sırasıyla %70, %58, %51 ve %92 sonucuna varmışlardır. Aynı koşullarda Foto-fenton prosesine göre sırasıyla %82, %73, %68 ve %95 oranında giderim verimleri yakalanırken, Ultrasonik-fenton prosesinde sırasıyla %79, %70, %66 ve %95 giderim verimi olduğunu bildirmişlerdir [125].

Gilpavas E. Ve arkadaşlarının 2018 yılında tekstil endüstrisinden kaynaklı atıksu numunesinin içeriğindeki yüksek KOİ ve TOK giderimlerinin güneş enerjisiyle çalışan, bor katkılı elmas (anot) ve titanyum (katot) elektrodlarının kullanıldığı bir Elektro-fenton prosesinde arıtım verimi araştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde optimum çalışma koşulları; pH 4 değerinde, 40 mA/cm^2 , $5768 \text{ } \mu\text{S/cm}$, Fe^{+2} 0,3 mM, güneş

enerjisi radyasyonunda, 15 dakika reaksiyon süresi ile belirlenmiş olup TOK ve KOİ giderim verimi sırasıyla %83 ve %70 olduğunu bildirmişlerdir [126].

Sanchis S. ve arkadaşlarının 2018 yılında, yüksek TOK ve KOİ içerikli tekstil atıksuyu ve farmasötik (tıbbi) atıksuyuna uyguladıkları ileri oksidasyon proseslerinden TOK ve KOİ giderim verimleri için güneş Foto-fenton ve ozonlama prosesi entegrasyonunun, hibrit fenton ve ozonlama entegre ileri arıtımına göre karşılaştırılmasının araştırıldığı çalışmada; kombine ozonlama prosesleri tek başına uygulanan Foto-fenton proseslerinden daha iyi bir giderim verimi yakalandığını, sadece güneş ışığı katalizörlüğünde gerçekleştirilen Foto-fenton prosesi ile (tekstil atıksuyu için) %67 oranında KOİ, %62 TOK giderim verimi bulduklarını bildirmişlerdir [127].

Vanessa L. ve arkadaşlarının 2018 yılında, tarım endüstrisinden kaynaklı yüksek KOİ ve bulanıklık parametreleri muhteviyatına sahip atıksu örnekleri üzerinde çalışmalarda bulunmuşlardır. Ön pıhtılaşma aşamasından gelen Fe^{+2} iyonlarının tekrar değerlendirilebilirliğinin de araştırıldığı çalışmada %68 bulanıklık, %70 KOİ giderim verimi tespit edilmiştir. Bu giderimin ardından UV radyasyonun da dâhil edilmesiyle reaksiyon ortamında daha fazla hidroksil radikallerinin aktif edilmesine bağlı olarak daha yüksek verim ve kısa sürede arıtım elde etmişlerdir. Sonuç itibariyle tarımsal kaynaklı atıksularda ön arıtma işlemleri sonrasında arta kalan demir iyonlarının arıtım prosesinde katalizör olarak kullanabilecekleri sonucunu bildirmişlerdir [128].

Çetinkaya S. G. ve arkadaşlarının 2018 yılında tekstil atıksularındaki renk giderimin Klasik fenton ve Ultrasonik-fenton prosesleri ile mukayesesinin yapıldığı çalışma neticesinde; Klasik fenton prosesine göre optimum pH 3 değerinde, 90 dakika reaksiyon süresiyle, 0,10 g/l Fe^{+2} ve 2,20 g/l H_2O_2 derişimleri ile %95 renk giderim verimi bulunurken, 35 kHz ultrasonik ışınlama kullanılarak, pH 3 değerinde, 0,05 g/L Fe^{+2} , 1,65 g/l H_2O_2 sarfiyatı ile 60 dakika reaksiyon süresi boyunca uygulanan arıtım sonrasında %99 renk giderim verimi gözlemlenmiştir. Sonuç itibariyle kimyasal sarfiyatı ve reaksiyon süresi göz önünde bulundurularak tekstil atıksuyundan renk giderimi için en ekonomik prosesin (klasik Fenton prosesine göre) Ultrasonik-fenton prosesi olduğunu bildirmişlerdir [129].

A. Affam ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada sulu çözeltilerdeki pertisitlerin; klorpirifos, sipermetrin ve klorothalonilin parçalanması için klasik Fenton, UV Foto-Fenton, Güneş Foto-Fenton, UV/TiO₂/H₂O₂ ve FeGAC/H₂O₂ ileri oksidasyon proseslerinin teknik arıtım verimleri ve maliyetleri mukayese edilmiştir. Arıtım deneyleri sonucunda; klasik Fenton Prosesine göre KOİ ve TOK giderim verimleri sırasıyla %69,03 ve %55,61 UV Foto-fenton prosesi için %78,56 KOİ, %63,76 TOK giderim verimi, güneş enerjili Foto-fenton için %74,19 COD giderim verimi ile %58,32 TOK giderimi, , UV/TiO₂/H₂O₂ prosesi için %53,62 KOİ giderimi %21,54 TOK giderim verimi, FeGAC/H₂O₂ prosesi içinse (FeGAC 5 g/l, H₂O₂ 100 mg/l, 60 dakika reaksiyon süresi ve pH 3 değerinde optimum koşullarda) %96,19 KOİ ve %85,60 TOK giderim verimi elde edilmiştir. Bu sebeple mukayese sonucunda en iyi giderim prosesinin FeGAC/H₂O₂ oksidasyon prosesi olduğunu bildirmişlerdir [130].

Hassanshaki N. ve Jashni A. K. tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada gri renk parametresinin belirgin olduğu tekstil endüstrisi atıksularında Foto-fenton, O³/H₂O₂/UV ve fotokatalitik proseslerin KOİ giderim verimi üzerine mukayesesi yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışma neticesinde Foto-fenton, ozon / H₂O₂ / UV ve fotokatalitik işlemde en yüksek KOİ giderimi sırasıyla; % 90,% 92 ve % 55 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, gri su iyileştirmesi için ozon/H₂O₂/UV işlemi önerilmekte olup KOİ ve bulanıklığı sırasıyla % 92 ve% 93 oranında giderim olduğu bildirmişlerdir [131].

Brito G. F. D. S. ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptığı çalışmada; Yüksek TOK içerikli Biyodizel atıksu arıtımında ileri oksidatif proseslerin değerlendirilmesi yapılmıştır. Yaptıkları çalışma sonucunda; klasik Fenton, Foto-fenton ve Güneş-fotolizi Organik yük azalmasında benzer oranda giderim verimini görmüşlerdir. Buna karşın Güneş-fotolizi %92 TOK giderimi ile en iyi giderim verimi olduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte biyodizel atıksularındaki %6-8 oranında organik içeriğin inatçı ve giderimi zor kirleticiler olduğunu bildirmişlerdir [132].

Davarnejad R. ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptığı, Elektro-fenton prosesi kullanılarak soya yağı tesisi atıksu arıtımı üzerine yaptıkları çalışmada; üretim esnasında oluşan ve atıksu muhteviyatına katılan fenolik bileşikler gibi tehlikeli maddelerin optimum koşullarda %92,66 giderim verimi sağladığını bildirmişlerdir [133].

Gonçalves L. O. ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları çalışmada biyodizel atıksularından TOK ve KOİ giderim verimi ileri oksidasyon prosesleri ile test edilmiştir. Bu çalışma sonucunda hibrit hareket yataklı biyoreaktör prosesi ile atıksudan % 69 KOİ, %68 TOK giderim verimi sağlanmışlardır. Yapılan bu hibrit çalışmaya entegre olarak Foto-fenton prosesi de eklendiğinde % 95 KOİ giderim verimi bildirmişlerdir [134].

Gamaralalage D. ve arkadaşlarını 2019 yılında yaptıkları çalışmada; palm (hurma) yağı üretim endüstrilerinden kaynaklı yüksek TOK (50.000 mg/L), toplam azot (520 mg/l) ve toplam fosfor (510 mg/l) içerikli atıksuların pH 2-5 değişken aralığında fenton prosesi uygulanarak çeşitli deneylere tabi tutularak arıtım verimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda pH 3 değerinde, minimum 90-180 dakika hızlı karıştırma aralığında Fe^{+2}/H_2O_2 oranı 0,6/3,7 olacak şekilde arıtım uygulandığında %91 oranında TOK ve %99,9 fosfor giderim verimini bildirmişlerdir [135].

Hanife S. E.'nin 2019 yılında yemeklik yağdan biyodizel üretimi yapılan endüstrilerin atıksularının elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak KOİ giderim verimi araştırılmıştır. Alüminyum (43 mA/cm^2 , pH=5) ve Demir (47 ma/cm^2 , pH=7,7) elektrodları ile sırasıyla 21 dakika ve 30 dakika reaksiyon süresiyle KOİ giderim verimlerinin sırasıyla %62,7 ve %63,4 olduğu bulunmuştur. Bunun yanı sıra optimum koşullarda; yağ-gres, toplam fosfor, orta fosfor ve ve askıda katı madde parametreleri uzaklaştırma verimleri sırasıyla %89,9, %98,9, %99,5 ve %86,7 olarak bildirmişlerdir [136].

3. BÖLÜM: MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Örneklemeye Konu Olan Tesisin Tanıtımı

3.1.1. Üniteler ve Atıksu Kaynakları

1- Tohum Deposu (Silolar): Tesise getirilen çeşitli tohumlar (ayçiçeği, soya, kanola vb) ilk olarak tohum deposuna getirilir. Tohum deposuna getirilen yağlı tohumlar; tohum türüne göre silolara aktarılarak tasnif işlemi yapılır.

2- Çiğit Deposu: Genel anlamda pamuk çekirdeğine çiğit denir. Tohum deposundan alınan çiğitler, çiğit deposuna römork ve kamyonlarla getirilir. Çiğit silosundan elek ünitesine helezonlarla taşınan çiğitler burada taş, çöp, metal parçalar gibi yabancı maddelerden irilik esasına göre arındırılarak, temizlenmiş çiğit silolarında biriktirilir. Daha sonra bu üniteden çiğitlerin üzerindeki elyaflar alınmak üzere linter dairesine aktarılır. Elekten geçirilerek yabancı maddelerden arındırılan ürünlerin üzerine, soyma ünitesinde daha iyi verim alabilmek ve homojen dağılımı sağlamak için su püskürtülerek nemlendirilir. Çiğitin soyulmasında % 16-18 oranında nemlenme sağlanmalıdır. Nemlendirme için kullanılan su buharlaşarak atmosfere geçtiği için atıksu oluşumu söz konusu değildir.

3- Kırma-Linter Ünitesi: Kırma-Linter dairesinde ayırma işlemi gerçekleştirilerek kabuğun tohumla uzun süre temas etmesi engellenir. İri kabuklar hava akımıyla emilir. Kabukların tamamı ayrılması istenmemektedir. Çünkü presleme işleminde kabuklar ünite faaliyetine yardımcı olur. Ayrılan kabuklar yan ürün olarak değerlendirilir. Kabuğu soyulan çiğitler kırma dairesinde kırılarak değirmene aktarılır.

4- Pres Ünitesi: Mekanik presleme işlemi sonucu esas ürün olarak ham yağ, yan ürün olarak yağı alınmış küspe elde edilmektedir. Burada çıkan posa; küspe dairesine, ham yağ ise rafine dairesine aktarılır. Çıkan küspe ise hayvan yemi olarak değerlendirilir. Ön hazırlama ünitelerinden çıkan bütün yağlı tohumlar, pamuk tohumları, ayçiçeği, soya, kanola vs. şartlandırma, prese ve ekstraksiyon ünitelerinde aynı makinelerden geçirilerek işlenirler. İşlenecek yağlı tohuma göre farklı rejimler uygulanır. Ön hazırlama ünitesinden ham ürün silosuna alınan yağlı tohumlar özelliklerine ve işleme koşullarına göre şartlandırma bölümüne alınırlar. Burada, nemlendirme, ön ısıtma ve pullama işlemlerinden geçirilerek preslerde ve ekstraksiyon da en uygun şekilde

işlenecek hale getirilirler. Uygun şekilde şartlandırılmış olan ham ürün pişirme ve presleme işlemi için preslere verilirler. Preslerde yağlı tohum içindeki bir kısım yağ alınır ve ekstraksiyonda iyi bir perkülasyon sağlayacak şekilde kek küspe elde edilir. Kek küspe ekstraksiyon ünitesine gönderilirken, elde edilen ham yağ filtrelerden geçirilerek ham yağ depolarına gönderilir. Bu ünite de expeller pres ünitesi, pre-pres ünitesi ve aksesuarları yer almaktadır. İç mal pişirme esnasında oluşan emisyon burada bulunan filtreli bacadan geçirilerek atmosfere salınır.

5- Ekstraksiyon Ünitesi: Preselerden çıkan ve kek küspe olarak tabir edilen yağ küspelerin içerisinde bulunan yağlar ekstraksiyon ünitesinde solventlerle (hekzan) çözülerek alınırlar. Buradaki amaç daha az bir enerji kullanılarak küspenin içindeki yağların tamamına yakınının alınmasıdır. Yağlı tohum cinsine bağlı ekstraksiyondan çıkan küspe içerisinde % 0,5 ile % 2 oranında yağ kalmaktadır. Ekstraksiyon üniteleri preselerin kapasitelerini artırır, daha verimli ve kaliteli ham yağ elde edilmesini sağlarlar. Ekstraksiyon ünitesinden çıkan küspe satılmak üzere depoya gönderilir. Ekstraksiyon ünitesinden çıkan ham yağ, ham yağ deposuna gönderilir.

6- Rafineri Ünitesi: Bu ünite de ham yağ ünitelerinden elde edilen yağlar rafine işlemlerinden geçirilerek yemeklik yağ haline getirilir. Ham yağlar; rafineri ünitesinde yemeklik yağ haline dönüştürülerek dolum ünitesinde doldurulmakta ve ambalajlanmaktadır. Ham yağ ünitelerinden elde edilen yağlar rafine işlemlerinden geçirilerek yemeklik yağ haline getirilir. Rafine işlemleri; yapışkan maddelerin alınması (Degumming), nötralizasyon, renk açma (dekolorizasyon), koku giderme (deodorizasyon) ve vinterizasyon işlemlerinden oluşur. Degumming işlemleri kapsamında, ham yağda bulunan fosfatidlerin, şeker ve protein içeren bileşiklerin, yağ hammaddesinden kaynaklanan koloidal büyüklükteki pulp maddelerin ve bulanıklık yaratan diğer yapışkan maddelerin yağdan uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Ancak rafinasyonda asitlik giderme yöntemlerinden biri olması ve halen yemeklik yağ sanayinde yaygın olarak kullanılması nedeniyle, asitlik giderme işlemine genel olarak nötralizasyon denilmektedir. Ham yağlarda kimi zaman doğrudan ya da çoğunlukla yapışkan maddeleri alındıktan sonra uygulanan nötralizasyon işlemi, yağda bulunan serbest asitlerin, baz çözeltileri ile giderilmesidir. Dekolorizasyon işlemi yağ sanayinde renk açmak amacı veya renk giderimi işlemidir. Bu işlemde ağartma prosesi

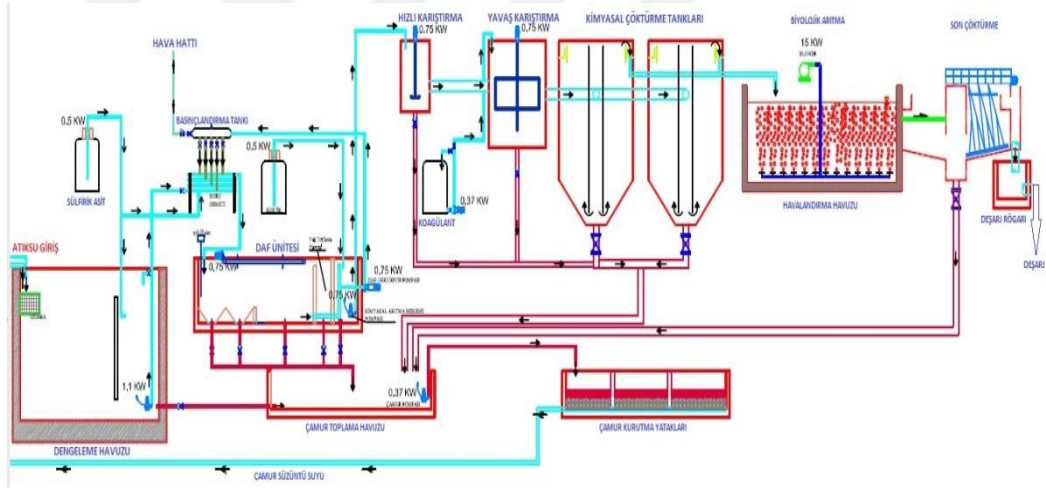
uygulanmaktadır. Ağartma işleminde, ağartma toprağı adı verilen bir madde kullanılmaktadır. Ağartma toprağı, adsorbantların yapısında montmorillonit kristallerinin yer aldığı ve bu nedenle anorganik asitler yardımıyla aktifleştirilebilen killerdir. Bu ağartma toprakları piyasada Tonsil, Alsil, Klarit gibi değişik ticari ad ve patentte bulunurlar. Kazana alınan yağ, vakum kullanılarak 100 °C sıcaklığa kadar indirekt olarak ısıtılır. Daha sonra da yağ içerisine direkt kızgın buhar verilerek, yağın sıcaklığı destilasyon sıcaklığına yükseltilir ve bu sıcaklık işlem sonuna kadar korunur. İşlemin boyunca arada bir alınan yağ numunesinde, nötr yağ tadının oluşup oluşmadığı kontrol edilerek karar verilir. Beklenen tat oluşuktan sonra yağ yine vakum altında önce en az 60 °C' ye kadar soğutulur ve daha sonra yağın olası oksidasyonunu önlemek amacıyla içerisine sitrik asit ilavesi yapılır ve vakum kaldırılır.

7- Biyodizel Üretim Ünitesi: Bitkisel Atık Yağ Ara Depolama Lisanslı tesislerden işletmeye getirilen bitkisel atık yağlar, pompa vasıtasıyla işlenmemiş bitkisel atık yağ depolama tankına deşarj edilmektedir. İşlenmek üzere depolama tankından alınan bitkisel atık yağlar öncelikle nemi alınmak üzere flush evaporatöre gönderilir. Burada yaklaşık 105 °C' ye kadar ısıtılıp vakum altında nemin 500 ppm lere kadar düşürülmesi sağlanır. Flush evaporatörü terk eden yağ, yaklaşık 60 °C' ye kadar soğutulup reaktörlere gönderilir. Yağ ile birlikte reaktörlere stok tanklardan alkol ve katalizör beslenerek transesterifikasyon reaksiyonunun başlatılması sağlanır. Reaksiyon süresi yaklaşık 8 saat süremekte olup reaksiyon ara kademelerinde, sistemde oluşan gliserinin büyük bir çoğunluğu sistemden uzaklaştırılır. Reaksiyon sonucu oluşan metil ester ilk olarak vakum altında içerdiği fazla metanolden arındırılır. Fazla metanolü uzaklaştırılan metil ester fazı yıkama ve asidifikasyon işlemine tabi tutulur. Yıkama sonucu faz içerisinde oluşan ağır faz kısmı separatör yardımıyla metil ester fazından ayrıştırılır ve kurutulmak üzere distilasyon kolonuna yönlendirilir. Metil ester fazı distilasyon kolonunda yaklaşık 165 °C sıcaklık ve vakum altında kurutulduktan sonra 50 °C' ye kadar soğutulurak ürün stok tanklara son ürün olarak gönderilir. Reaksiyon aşamasında yan ürün olarak oluşan gliserin fazında, öncelikle faz içerisindeki fazla metanol uzaklaştırılır. Sonrasında asidifikasyon işlemine tabi tutularak kurutma için distilasyon kolonuna yönlendirilir. Yaklaşık 165 °C sıcaklıkta kurutulan ve kurutma sonrası 50 °C' ye soğutulan gliserin son ürün olarak tankına gönderilir. Tüm prosesten uzaklaştırılan atıksular arıtılmak üzere artıma tesisine yönlendirilir.

3.1.2. Tesiste Uygulanan (Klasik) Atıksu Arıtımı

Bu çalışma konusunu oluşturan endüstriyel nitelikli Atıksu örnekleri; Mersin İlinde bulunan bitkisel ham yağ, rafine yağ, bitkisel atık yağdan (ve hamyağdan) biodizel imalatı yapmaktadır. Bahse konu imalat proseslerinden gelen atıksular personel kullanımı sonucu oluşan evsel nitelikli atıksularla birleşerek fiziksel, biyolojik ve kimyasal entegre atıksu arıtma tesisinde arıtılarak, tesis çevresinde bulunan kanala deşarj edilmektedir.

Tesise ait atıksu arıtma tesisi proses kaynaklı 300 m³/gün, evsel nitelikli 60 m³/gün, soğutma suyu 200 m³/gün, ve sulama suyu 10 m³/gün olmak üzere toplam 570 m³/gün' lük atıksuyu arıtabilecek şekilde teşkil edilmiştir. Tesis atıksu arıtma tesisi akım şeması şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1 Tesis Atıksu Arıtma Akım Şeması

Arıtmaya Su Girişi Ve Gelen Suyun Dengelenmesi: Fabrikadan gelen atıksular ilk önce dengeleme havuzu önündeki röğara gelir. Ardından dengeleme havuzuna iner. Dengeleme havuzuna giriş yapısında ızgaradan geçen atıksu içindeki katı maddeler ayrılır. Dengeleme havuzunda bulunan 1 adet dalgıç pompa dengeleme havuzunda bulunan şamandıraya göre atıksuyu kimyasal arıtmaya göndermektedir.

Daf Havuzunda Yapılan İşlemler (Yüzeysel Yağ Sıyırma): Dengeleme havuzundan pompa ile alınan atıksu, DAF havuzuna gelerek içerisindeki yağların hava ve H₂SO₄ yardımı ile pH'nın 2 değerlerine indirgenmesi ile yağların çözünmesi sağlanır. DAF havuzunda parçalanmış yağlar, yüzeye gelerek sıyrıcı yardımı ile 15 dakikada bir yağ

haznesine boşalır. Yağ haznesine boşalan yağlar pompa ile çekilerek biriktirilir. H₂SO₄ dozajlaması DAF havuzunda bulunan pH probu ve panodaki pH göstergesi ile otomatik olarak yapılır.

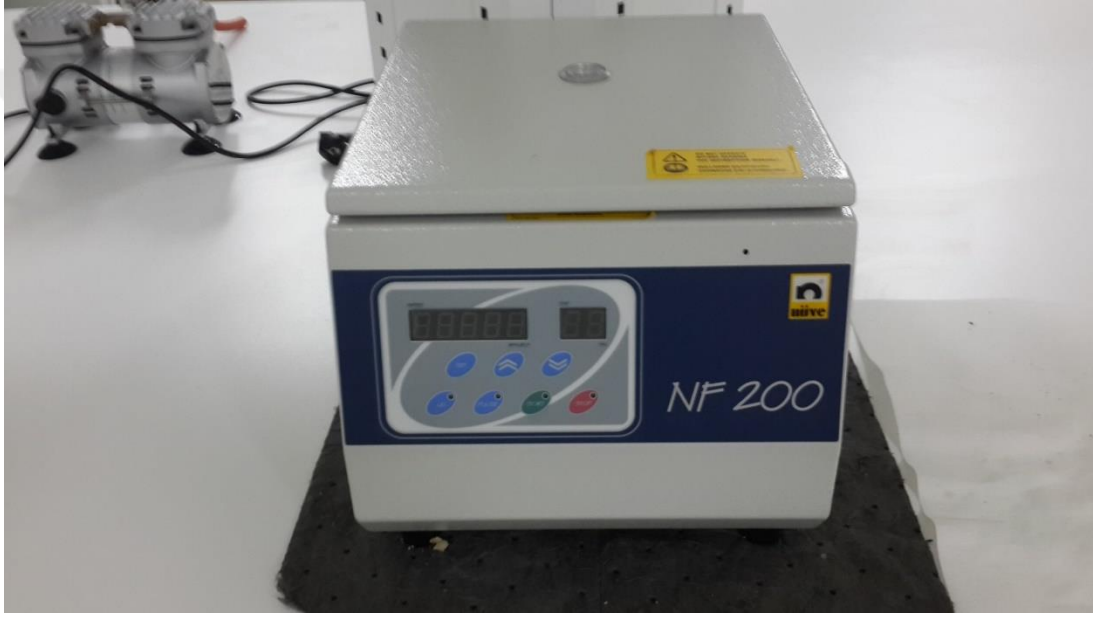
Kimyasal Arıtma İşlemleri: Kimyasal arıtmanın ilk kısmı hızlı karıştırma tankıdır. Hızlı karıştırma tankına, DAF havuzunda yağı sıyrılmış su pompa ile gönderilir. Hızlı karıştırma tankında bulunan pH probu ve panodaki gösterge yardımı ile otomatik olarak pH 6,5 ila 7 seviyelerine yükseltilir. pH yükseltmek için NaOH dozajlaması otomatik olarak yapılır. pH 6-7 seviyelerine gelen suya, kimyasal çöktürme için koagülant dozajlaması yapılır. Ardından hızlı karıştırmadan yavaş karıştırma tankına atıksu cazibe ile gönderilir. Yavaş karıştırmada nötralize edilmiş ve floku oluşturulmuş olan atıksu, kimyasal arıtma ünitesinde bulunan iki adet çöktürme tanklarına cazibe ile gönderilir ve ilk çöktürme gerçekleştirilir. Çöktürme tankında flokların ortalama çökme süresi 1–1,5 saat arasındadır. Ardından çöktürme tanklarında kimyasal arıtımı yapılmış olan su cazibe ile savaklanarak biyolojik arıtma ünitesine gönderilir.

Biyolojik Arıtma İşlemleri: Kimyasal arıtmadan çıkan arıtılmış su, havalandırma havuzuna gönderilir. Bu havuzda bakteriler ile arıtım gerçekleştirilir. Biyolojik arıtma kısmında kullanılan bakterilerin besin kaynağı evsel atıksudan havuza deşarj edilir. Oksijenli solunum yapan bakterilerin yaşaması için havalandırma havuzu tabanındaki hava difüzörleri saatte 40-50 dakika çalışarak bakterilere oksijen beslemesi yapar. Hava ve besinini alan bakteriler aktif çamur oluşturarak biyolojik arıtımı gerçekleştirirler. Biyolojik havuz içerisinde suyun pH 6-9 arasında olmak zorundadır. Aksi durumda bakteriler yaşamı sonlanır ve arıtma verimli olmayacaktır. Aynı zamanda havuzun sıcaklığı 25 ila 35 °C arasında olmalıdır. Görevli eleman düzenli periyotlarla havuzun pH ve sıcaklığını kontrol etmektedir. Çamur kurutma yatağı/filtre presste oluşan çamur, belirli periyotlarda katı atık olarak sistemden uzaklaştırılıp atık alanında bulunan arıtma çamuru haznesine gönderilir. Belli tonaja ulaştıktan sonra geri kazanım/bertaraf lisanslı firmalara bertaraf edilmek üzere atık olarak gönderilir. Çamur kurutmadan arta kalan süzüntü suyu dengeleme havuzuna cazibe ile gönderilir.

3.2. Materyal

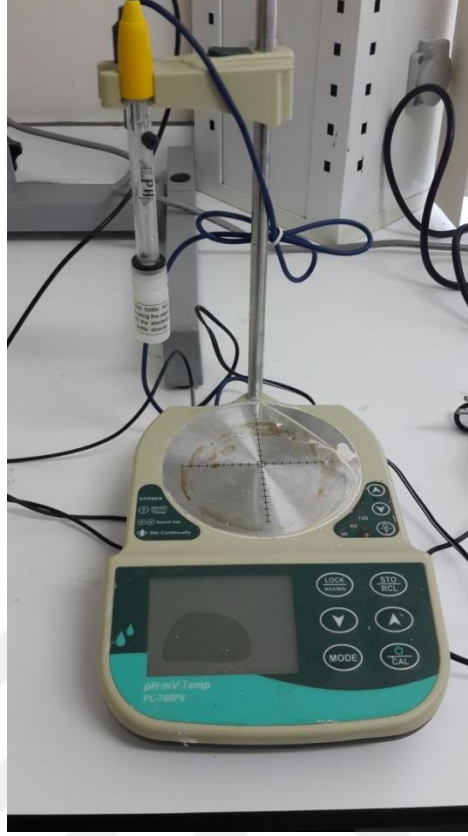
Çalışmalarda kullanılan cihaz ve malzeme listesi şu şekildedir;

Santrifüj Cihazı: Çalışmalarda santrifüj işlemleri için dijital göstergeli, 0-5.000 rpm devir aralığına sahip, 1-99 dakika çalışma zaman aralığında işlem görebilen Nüve Nf 200 laboratuvar tipi santrifüj makinası kullanılmıştır. Çalışmaların tümünde devir 4.000 rpm 5 dakika süreli santrifüje tabi tutulmuştur. Kullanılan cihaz resim 3.1’ de verilmiştir.



Resim 3.1 Nüve Nf 200 Laboratuvar Tipi Santrifüj Makinası

pH Metre: Çalışmaların pH ölçümü resim 3.2 de görülen Ezdo P1-700pv marka hassas pH metre ile yapılmıştır.



Resim 3.2 Ezdo PI-700pv Marka Hassas Ph Metre

Isıtcılı Manyetik Karıştırıcı (Hot Plate): Yavaş karışımların tümü MTOPS MS300HS marka ısıtıcı manyetik karıştırıcı ile yapılmıştır. 0-1500 rpm karıştırma hızı ile 0-380 °C sıcaklık aralığında çalışma yapılma olanağı bulunan manyetik karıştırıcıda, hızlı karışımların tümü 400 rpm hızlı karışımda 25 °C sabit sıcaklıkta 5 dakika yapılmıştır. Bahse konu Hot Plate resim 3.3' de görülmektedir.



Resim 3.3 Mtops Ms300hs Marka Isıticılı Manyetik Karıştırıcı

Yavaş Karıştırıcı: Hızlı karıştırma sonrası yavaş karışım işlemleri çalkalamalı ve sabit ısıticılı JSR JSSI-300c marka inkübatörde yapılmıştır. Yavaş karıştırma 90 rpm hızda, 25 dakika ve 25 °C sabit değerlerde gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.4 Isıticılı Jsr Jssi-300c Marka İnkübatör

Ultraviyole Lambalar: Ultraviyole (UV) ışınları, ya da Türkçe’de kullanılan adıyla morötesi ışınlar, dalga boylarının kısa olması sebebi ile çıplak gözle göremediğimiz ışınlardır. Gözlerimiz, dalga boyları 400 nm (nanometre) ile 700 nm arasında olan ışınlarla karşı duyarlıdır. Fakat UV ışınlarının dalga boyları 100 nm ile 400 nm arasında seyretmektedir. Bu sebepten de insan gözünün algılayabildiği en düşük dalga boylu ışın, mor olarak görünmektedir.

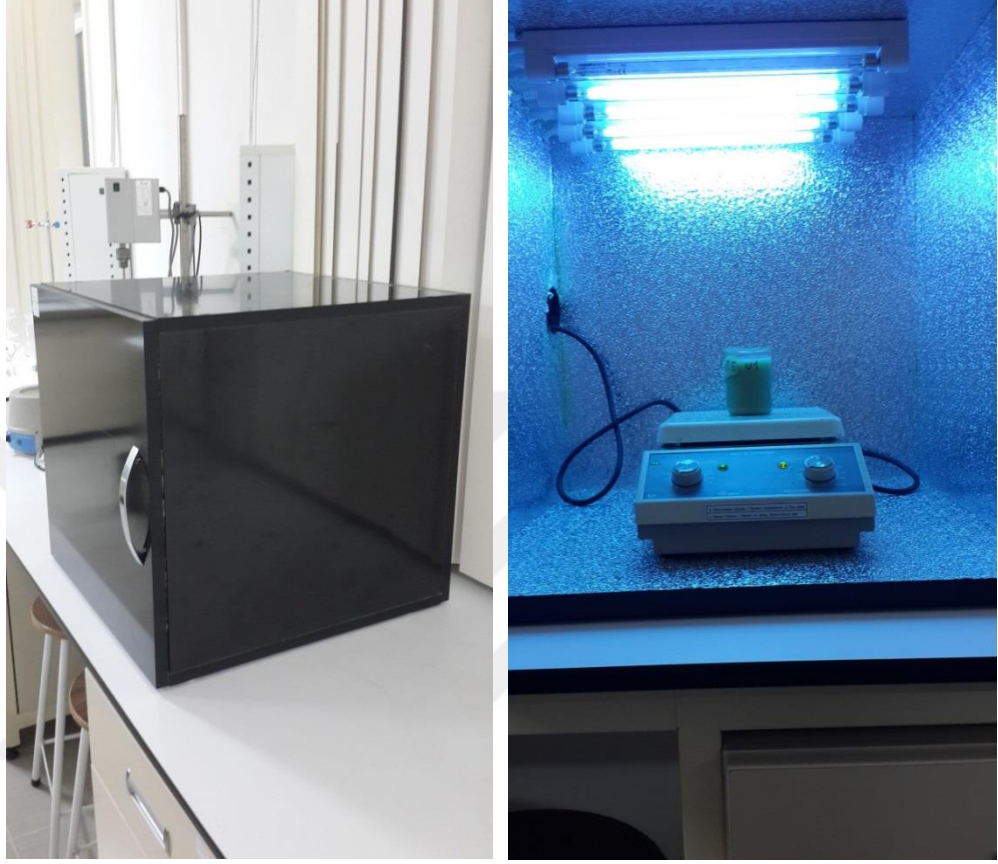
Yapılan bu çalışmada, her biri 8 watt gücünde 254 nm dalga boyunda ve her biri farklı anahtara bağlanmış birbirinden bağımsız (resim 3.5) 5 adet Osram Germicidal (İtalya meşeei) marka, civalı, UV-c (254 nm) tipi ultraviyole lambalar kullanılmıştır.



Resim 3.5 Osram Marka UV-C (254 Nm) Tipi Ultraviyole Lamba

UV Kabin: Foto-fenton prosesleri (resim 3.6) tarafımdan modeli imal edilen 97,335 cm² iç hacme sahip ultraviyole kabin içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu kabin, her biri dışarıdan ayrı ayrı anahtarla kontrol edilebilen lambalara bağlantılı olup içerisinde herbiri 8 watt gücünde, 5 adet UV lamba takılabilen özellikte teşkil edilmiştir. Kabin içerisi; ışığı optimum düzeyde yansıtması maiyetinde ve sabit sıcaklığı koruması maiyetinde kalın yalıtımlı (yapı tipi özeli) üliminyum kaplama ile kaplanmıştır. Lambalar 25 °C ısı yaymakta olup kabin hacmi bu sıcaklığı sabit tutacak şekilde havalandırılmalıdır. Kabin içerisine ısıtıcılı manyetik karıştırıcılı hotplate yerleştirilmek suretiyle deneyler icra edilmiştir. Kabin içi tavan ve taban arası mesafe 42 cm (16,54 inç) olup tüm Foto-fenton prosesleri temas yüzeyi ve lambalar arası mesafe 30 cm sabit

olacak şekilde icra edilmiştir. Deneyler esnasında düzenli aralıklarla, dijital termometre ile sıcaklık kontrolü yapılmıştır.



Resim 3.6 UV Kabin

KOİ Spektrofotometresi: Arıtım sonrası KOİ ölçümleri için Thermo Aquamate Plus marka spektrofotometrede yapılmıştır. Okumalarda kuvars cam tüpler kullanılmıştır. Bahse konu cihaz resim 3.7' de verilmiştir.



Resim 3.7 Thermo Aquamate Plus Marka Spektrofotometre

Etüv: Mazemelerin temizlik ve dezenfeksiyonu için JSR JSOF-050 marka etüv cihazı kullanılmıştır (resim 3.8).



Resim 3.8 JSR JSOF-050 Marka Etüv

Analitik Hassas Terazî: Demir tartımlarında $\pm 0,0001$ g hassasiyetinde BEL Engineering marka analitik hassas terazî kullanılmıştır (resim 3.9).



Resim 3.9 Bel Engineering Marka Analitik Hassas Terazi

Termoreaktör: KOİ ölçüm hazırlıklarında yakma işlemi 148 °C sıcaklıkta Hach Lange Marka termoreaktörde gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde diğer karakteristik okumalar için gerekli ısıtma işlemide bu termoreaktörde gerçekleştirilmiştir (resim 3.10).



Resim 3.10 Hach Lange Marka Termoreaktör

KİT Okuma Cihazı: TOK, Nitrit, Nitrat, Toplam Azot, Fosfat ölçümleri Hach Lange Marka cihazda gerçekleştirilmiştir (resim 3.11).



Resim 3.11 Hach Lange Marka Kit Okuma Cihazı

Atıksu Karakteristik Okuma Kitleri: Atıksu karakteristik okumaları aşağıdaki kitlerde gerçekleştirilmiştir

- ✓ Toplam Azot: Hack Lange LCK 138
- ✓ Nitrit: Hack Lange LCK 341
- ✓ Fosfat: Hack Lange LCK 349
- ✓ Nitrat: Hack Lange LCK 339
- ✓ TOK taini: Hack Lange LCK 386

Çözünmüş Oksijen ve İletkenlik Ölçer: iletkenlik ve çözünmüş oksijen ölçümü farklı diyot bağlanabilen Hack Lange HQ 40d marka dijital ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir (resim 3.12).



Resim 3.12 Hack Lange Marka Dijital Ölçüm Cihazı

Ultra saf su cihazı: Yıkama ve temizlikte kullanılan distile sular MP Minipure DEST UP marka ultra safsu cihazından temin edilmiştir.

Beher: çalışmalarda 200, 400, 800 ve 1000 ml' lik yüksek ısıya dayanıklı İsolab marka cam beher kullanılmıştır.

Erlen: 200 ml altı örnek çalışmalarda 100 ml' lik yüksek ısıya dayanıklı cam erlen kullanılmıştır.

Mezür: Çözelti hazırlama işlemleri 250 ml'lik mezürlerde gerçekleştirilmiştir.

Pipet: Çözeltileri hazırlamada, numune alımlarından 1 ml, 2 ml, 5 ml, 10 ml ve 25 ml'lik pipet kullanılmıştır.

Deney Tüpleri: Etüvde yakma işlemleri ve santrifüj işlemleri 10 ml'lik yüksek ısıya dayanıklı vida kapaklı İsolab marka cam deney tüpünde icra edilmiştir.

Manyetik balık: hızlı karıştırma işlemleri (beher ve erlen durumuna göre) 15x6, 20x10, 25x15 ebatlarında, farklı boyutlardaki İsolab marka teflon kaplı manyetik balıklar ile sabit hızlarda gerçekleştirilmiştir.

3.3. Yöntem

Bu çalışmada ham atıksu örneğine; öncelikle klasik Fenton prosesleri uygulanarak optimum pH, Fe^{+2} , ve H_2O_2 giderim oranları belirlenmiş akabinde Foto-fenton prosesleri uygulanarak optimum Fe^{+2} ve H_2O_2 giderim oranları belirlenmiştir. Yapılan optimizasyon çalışmalarının ardından, arıtım ve kimyasal sarfiyatı minimize edilen en uygun pH, Fe^{+2} , ve H_2O_2 iki proste ayrı ayrı uygulanarak en iyi kirletici giderim süreleri kinetikleri belirlenmiştir. Son olarak 8 watt, 16 watt, 24 watt, 32 watt ve 40 watt UV-c lamba altında Foto-fenton arıtım prosesi uygulanarak farklı lamba şiddetinde arıtım giderimleri araştırılmıştır. Kirletici izleyici parametre olarak Kimyasal Oksijen İhtiyacı seçilmiş olup arıtımlar öncesi ve sonunda KOİ testleri yapılarak arıtma verimi kontrol edilmiştir.

Numunenin alınması ve laboratuvar ortamına getirilmesi: Örnek çalışılacak numune; atıksu arıtma tesisi giriş yapısından ham halindeyken, numune alım standartları doğrultusunda anlık olarak alınmıştır. Örnek çalışmalarda 15 litre örnek numune alınarak, oksijen almayacak şekilde sıkıca kapatılıp isim, danışman, alım tarihi ve içeriği etiketlenmiştir. Numuneler bekletilmeden, soğutucu hazne (+4 °C) içerisinde laboratuvara getirilmiş ve çalışma boyunca soğutucu dolapta (+4 °C) muhafaza edilmiştir. Örnekten alınan numunelerde ham atıksu karakterizasyonu belirlemek amacıyla KOİ, TOK, pH, sıcaklık, iletkenlik, toplam oksijen, nitrit, nitrat, fosfor, azot ilk okumaları yapılmıştır.

Çözeltilerin Hazırlanması: Çalışmalarda kullanılacak ve ileride detayları ile verilen çözeltiler önceden hazırlanmıştır.

Deneysel Çalışmalar: Deneysel çalışmalar Klasik fenton oksidasyon deneylerine ve Foto-fenton oksidasyon deneylerine göre yapılmıştır.

3.3.1. Çözeltilerin Hazırlanması

Oksidasyon deneylerinde, H_2O_2 (% 50) çözeltisi kullanılmıştır. pH ayarlaması ve Fenton oksidasyonu nötralizasyonu için sülfürik asit (H_2SO_4) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. KOİ testi için potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$ yani sindirim çözeltisi) ve gümüş sülfat (Ag_2SO_4) kullanılmıştır. H_2O_2 stok çözeltisi, H_2SO_4 çözeltisi

(6 N) ve NaOH çözeltisi (6 N) çözeltisi hazırlanmıştır. Tüm cam kaplar önce yıkama asidi çözeltisiyle, ardından musluk suyuyla ve sonra kullanmadan önce damıtılmış suyla durulanmıştır ve etüvlenmiştir. Tüm kimyasallar ürünlerde Merck markası tercih edilmiştir. Hazırlanan çözeltilerin görseli resim 3.13' de görülmektedir.

Stok Peroksit Çözeltisi (H_2O_2 Çözeltisi) Hazırlama

Meck marka %50' lik H_2O_2 88,48 ml çekilip üzerine 411,52 ml saf su eklenerek 500 ml' ye tamamlanmıştır.

$K_2Cr_2O_7$ (Merkür Sülfat-Sindirim-Parçalama Reaktifi) Çözeltisi Hazırlama

250 ml distile su üzerine 2,45 gr Merck marka potasyumdikromat ($K_2Cr_2O_7$), Merck marka 83,5 ml H_2SO_4 ve 16,65 gr Merck marka civasülfat ($HgSO_4$) eklenerek çözelti hazırlanmıştır. Bu çözelti üzerine distile su eklenerek 500 ml' ye tamamlanmıştır.

3 M H_2SO_4 Çözeltisi Hazırlama

Merck marka %98' lik H_2SO_4 21 ml çekilip üzerine saf su eklenerek 250 ml' ye tamamlanmıştır.

H_2SO_4 Reaktifi Hazırlama

500 ml Merck marka %98' lik H_2SO_4 üzerine Merck marka 4,95 gr gümüşsülfat ($AgSO_4$) eklenerek çözelti hazırlanmıştır.

1 M NaOH Çözeltisi

10 gr NaOH üzerine 250 ml distile su eklenerek çözelti hazırlanmıştır.



Resim 3.13 Hazırlanan Çözeltiler

3.3.2. Klasik Fenton Oksidasyon Deneyleri

Toplam 8 adet deney yapılmış olup 4'ü klasik Fenton prosesleri altında aşağıda detayları verilen 1. çalışma, 2. çalışma, 3. çalışma ve 4. çalışma deneyleri yapılmıştır. Diğer 4 deney Foto-fenton prosesleri altında ilerleyen kısımlarda detayları verilen 5. çalışma, 6. çalışma, 7. çalışma ve 8. çalışma deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk 4 çalışma yöntemi şu şekildedir;

3.3.2.1.1. Çalışma Yönetimi (Klasik Fenton Prosesine Göre Optimum pH Deneyleri)

Klasik Fenton prosesinde $FeSO_4$ ve H_2O_2 değerleri literatür taramalarına göre en iyi değerlerde sabit tutulup en iyi pH seviyesinde arıtma verimi kontrol edilmiştir.

1. 200 ml örnek numuneler 400 ml'lik cam behere alınarak 3 M H_2O_2 çözeltisi ile pH sırayla 2, 3, 4, 5 ve 7 ayarlanarak 5 adet deney düzeneği hazırlanmıştır.
2. pH ayarlaması yapılan numunelerin üzerine (200 ml örnek için) tüm numunelerde sabit olacak şekilde 150 ppm $FeSO_4$ ve 2250 ppm H_2O_2 çözeltisi eklenerek klasik Fenton arıtım prosesi uygulanmıştır.
3. 25 °C 400 rpm hızlı karıştırmada 5 dakika manyetik karıştırıcıda karışım yapılmıştır. Akabinde karışım cihazında (JSSI-3000C) 90 rpm devirde 25 dakika yavaş karıştırma yapılmıştır.

4. Karışım işlemi sonrasında tüm numunelere (çökelek oluşturulabilmesi amacıyla) 1 M NaOH çözeltisi eklenerek pH 8' e değerine yükseltildi.
5. Çökeleklerin oluşması ve arıtımın gözlenmesi adına tüm numuneler 120 dakika hareketsiz ortamda beklemeye alındı.
6. Çökeleklerin oluşmasına mukabil üst duru fazdan 2' şer ml numune alınarak (her deney adına 2 tekrarlı olmak üzere) KOİ ölçümleri yapıldı.

3.3.2.2. 2. Çalışma Yöntemi (Klasik Fenton Prosesine Göre Optimum Fe⁺² Optimizasyonu Deneyleri)

Tüm numunelerde, 1. çalışma neticesinde en iyi arıtım verimi alınan pH değeri ve H₂O₂ değeri sabit tutularak klasik Fenton prosesine göre optimum Fe⁺² testleri yapılmıştır.

1. 200 ml örnek numunelerden 7 adet 400 ml'lik cam behere alınarak 3 M H₂O₂ çözeltisi ile 1. çalışma sonucu belirlenen en iyi pH seviyesine getirilerek hazırlanmıştır.
2. pH ayarlaması yapılan numunelerin üzerine (200 ml örnek için) tüm numunelerde sabit olacak şekilde 2250 ppm H₂O₂ çözeltisi ve sırasıyla 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm (1. çalışmada kontrol edildiği için burada tekrarlanmadı), 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm, 400 ppm ve 450 ppm FeSO₄ eklenerek klasik Fenton arıtım prosesi uygulanmıştır.
3. 400 rpm hızlı karıştırmada 5 dakika manyetik karıştırıcıda karışım yapıldı. Akabinde karışım cihazında (JSSI-3000C) 90 rpm devirde 25 dakika yavaş karıştırma yapılır. Karışımlar, karıştırılmadan önce ağzı streçlenerek dökülmelere karşı önlem alınmıştır.
4. Karışım işlemi sonrasında tüm numunelere (çökelek oluşturması adına) 1 M NaOH çözeltisi eklenerek pH 8,1' e yükseltildi. Arıtımın gözlenmesi adına tüm numuneler (en az 120 dakika) hareketsiz ortamda beklemeye alındı.
5. Çökeleklerin oluşmasına mukabil üst duru fazdan 2' şer ml numune alınarak (her deney adına 2 tekrarlı olmak üzere) KOİ ölçümleri yapılmıştır.

3.3.2.3. 3.Çalışma Yöntemi (Klasik Fenton Prosesine Göre Optimum H₂O₂ Optimizasyonu Deneyleri)

1. ve 2. Çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre klasik Fenton prosesinde pH, FeSO₄ değerleri sabit tutularak en iyi H₂O₂ giderim verimi kontrol edilmiştir.

1. 100 ml örnek numunelerden 7 adet erlene alınarak 3 M H₂SO₄ çözeltisi ile 1. çalışma sonucu çıkan optimum pH seviyesine getirilerek hazırlanmıştır.
2. pH ayarlaması yapılan numunelerin üzerine (100 ml örnek için) tüm numunelerde sabit olacak şekilde 2. çalışma neticesinde belirlenen optimum değerde FeSO₄ ve sırasıyla 1500 ppm, 1750 ppm, 2000 ppm, 2250, 2500 ppm, 3000 ppm ve 3750 ppm H₂O₂ çözeltisi eklenerek klasik Fenton arıtım prosesi uygulanmıştır.
3. 400 rpm hızlı karıştırmada 5 dakika manyetik karıştırıcıda karışım yapıldı. Akabinde karışım cihazında (JSSI-3000C) 90 rpm devirde 25 dakika yavaş karıştırma yapıldı. Karışımlar, karıştırılmadan önce ağzı streçlenerek dökülmelere karşı önlem alındı.
4. Karıştırma işlemi sonrasında tüm numunelere (çökelek oluşturması adına) 1 M NaOH çözeltisi eklenerek pH 8.1' e yükseltildi. Arıtımın gözlenmesi adına tüm numuneler (en az 120 dakika) hareketsiz ortamda beklemeye alınmıştır.
5. Çökeleklerin oluşmasına mukabil üst duru fazdan 2' şer ml numune alınarak (her deney adına 2 tekrarlı olmak üzere) KOİ ölçümleri yapılmıştır.

3.3.2.4. 4. Çalışma Yöntemi (Klasik Fenton Prosesine Göre En İyi Arıtım Süresi Kinetiği Deneyleri)

1., 2. ve 3. çalışma sonucunda elde edilen optimum değerler sabit tutularak klasik Fenton prosesinde arıtımın uygulama sürelerine göre en iyi giderimin sonuçları kontrol edilmiştir.

1. 1000 ml örnek numunelerden 3 M sülfirikasit çözeltisi ile 1., 2. ve 3. çalışma sonucu arıtım için belirlenen optimum değerler baz alınarak klasik Fenton prosesi uygulandı. 400 rpm hızlı karıştırmada 5 dakika manyetik karıştırıcıda karışım yapılmıştır.

2. 90 rpm devirde 60 dakika yavaş karıştırmaya alınan örnek numune sırayla 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60 dakikalarda 100 ml' lik erlenlere numune alındı.
3. Karışım işlemi sonrasında alınan her numune (çökelek oluşturması adına) 1 M NaOH çözeltisi eklenerek pH 8.1' e yükseltildi. Arıtımın gözlenmesi adına tüm numuneler (en az 120 dakika) hareketsiz ortamda beklemeye alındı.
4. Çökeleklerin oluşmasına mukabil üst duru fazdan 2' şer ml numune alınarak (her deney adına 2 tekrarlı olmak üzere) KOİ ölçümleri yapılmıştır.

3.3.3. Foto-Fenton Oksidasyon Deneyleri

Son 4 çalışma şu şekildedir;

3.3.3.1. 5. Çalışma Yöntemi (Foto-Fenton Prosesine Göre Optimum Fe²⁺ Optimizasyonu Deneyleri)

2. çalışma; UV lamba altında tekrar edilmiş olup Foto-fenton prosesine göre en iyi FeSO₄ konsantrasyonu belirleme testleri yapılmıştır. Arıtım işlemlerinin tamamı UV-c lamba altında yapılmıştır. UV-c altında kimyasal sarfiyatının azalacağı düşünülerek arıtım kimyasalları 2. çalışmadan farklı değerlerde spesifik olarak alınmıştır. Bu sebeple 1. çalışmadan farklı olarak 200 ml yerine 100 ml örneklerle çalışma yapılmıştır.

1. UV-c lamba altında 100 ml örnek numunelerden 11 adet erlene alınarak 3 M H₂SO₄ çözeltisi ile 1. çalışma sonucu belirlenen optimum pH seviyesine getirilerek hazırlanmıştır.
2. UV-c altında pH ayarlaması yapılan numunelerin üzerine (100 ml örnek için) yine UV-c altında ve tüm numunelerde sabit olacak şekilde 2000 ppm H₂O₂ çözeltisi ve sırasıyla 50 ppm, 100 ppm, 125 ppm, 150 ppm, 175 ppm, 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm, 400 ppm, 450 ppm ve 500 ppm FeSO₄ eklenerek Foto-fenton arıtım prosesi uygulanmıştır.
3. UV-c altında 400 rpm hızlı karıştırmada 5 dakika manyetik karıştırıcıda karışım yapılmıştır. Akabinde 90 rpm devirde 25 dakika yavaş karıştırma yapılmıştır.
4. Karışım işlemi sonrasında tüm numunelere (çökelek oluşturması adına) 1 M NaOH çözeltisi eklenerek pH 8,1' e yükseltilmiştir. Arıtımın gözlenmesi adına tüm numuneler (en az 120 dakika) hareketsiz ortamda beklemeye alınmıştır.

5. Çökeleklerin oluşmasına mukabil üst duru fazdan 2' şer ml numune alınarak (her deney adına 3 tekrarlı olmak üzere) KOİ ölçümleri yapılmıştır.

3.3.3.2. 6. Çalışma Yöntemi (Foto-Fenton Prosesine Göre Optimum H₂O₂ Optimizasyonu Deneyleri)

3. çalışma UV_c lamba altında tekrar edilmeli ve Foto-fenton prosesine göre optimum H₂O₂ giderim verimi kontrol edilmiştir. Arıtım işlemlerinin tamamı UV_c lamba altında yapılmıştır. UV_c altında kimyasal sarfiyatının azalacağı düşünülerek arıtım kimyasalları 3. çalışmadan farklı değerlerde spesifik olarak alınmıştır.

1. UV_c altında 100 ml örnek numunelerden 6 adet erlene alınarak 3 M H₂SO₄ çözeltisi ile 1. çalışma sonucu belirlenen optimum pH seviyesine getirilerek hazırlanmıştır.
2. UV_c altında pH ayarlaması yapılan numunelerin üzerine (100 ml örnek için) tüm numunelerde sabit olacak şekilde 5. çalışma neticesinde en iyi giderim oranı olan değerde FeSO₄ ve sırasıyla 625 ppm, 1000 ppm, 1250 ppm, 1500 ppm, 1625 ppm, 1875 ppm, 2000 ppm ve 2500 ppm değerlerinde H₂O₂ çözeltisi eklenerek Foto-fenton arıtım prosesi uygulanmıştır.
3. UV_c altında 400 rpm hızlı karıştırmada 5 dakika manyetik karıştırıcıda karışım yapılmıştır. Akabinde 90 rpm devirde 25 dakika yavaş karıştırma yapılmıştır.
4. Karışım işlemi sonrasında tüm numunelere (çökelek oluşturması adına) 1 M NaOH çözeltisi eklenerek pH 8,1' e yükseltildi. Arıtımın gözlenmesi adına tüm numuneler (en az 120 dakika) hareketsiz ortamda beklemeye alınmıştır.
5. Çökeleklerin oluşmasına mukabil üst duru fazdan 2' şer ml numune alınarak (her deney adına 3 tekrarlı olmak üzere) KOİ ölçümleri yapılmıştır.

3.3.3.3. 7. Çalışma Yöntemi (Foto-Fenton Prosesine Göre En İyi Arıtım Süresi Kinetiği Deneyleri)

5. ve 6. çalışma sonucunda belirlenen optimum değerler sabit tutularak UV lamba altında arıtımın uygulama sürelerine göre en iyi giderimin sonuçları kontrol edilmiştir.

1. UV_c lamba altında 1000 ml örnek numunelerden 3 M H₂SO₄ çözeltisi ile 1., 2. ve 3. çalışma sonucu arıtım için çıkan optimum değerler baz alınarak Foto-

fenton prosesi uygulanmıştır. UV-c altında 400 rpm hızlı karıştırmada 5 dakika manyetik karıştırıcıda karışım yapılmıştır.

2. UV-c altında 90 rpm devirde 60 dakika yavaş karıştırmaya alınan örnek numuneye Sırayla 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60 dakikalarda 100 ml' lik erlenlere numune alınmıştır.
3. Karışım işlemi sonrasında alınan her numune (çökelek oluşturması adına) 1 M NaOH çözeltisi eklenerek pH 8,1' e yükseltildi. Arıtımın gözlenmesi adına tüm numuneler (en az 120 dakika) hareketsiz ortamda beklemeye alınmıştır.
4. Çökeleklerin oluşmasına mukabil üst duru fazdan 2' şer ml numune alınarak (her deney adına 3 tekrarlı olmak üzere) KOİ ölçümleri yapılmıştır.

3.3.3.4. 8. Çalışma Yöntemi (Foto-Fenton Prosesine Göre UV-c Işık Yoğunluğu Deneyle)

5. çalışma, 6. çalışma ve 7. çalışma neticesinde belirlenen optimum parametreler ve arıtım kinetiği sabit tutularak 254 nm (UV-c) ultraviyole lamba altında 8 watt, 16 watt, 24 watt, 32 watt ve 40 watt ışık şiddetinden en iyi giderim optimizasyonu çalışılmıştır.

3.3.4. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analizi

KOİ analizi; 1989, 5220 C. Closed Reflux Yöntem kullanılarak icra edilmiştir.

KOİ standartlarının hazırlanması: 10 ml, yüksek ısıya dayanıklı, vida kapaklı, cam tüplerde karıştırılmıştır.

4. BÖLÜM: BULGULAR

Ham Atıksu karakteristiği tablo 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4.1 Ham Atıksu Karakteristiği

Parametreler	Analiz Verileri
KOİ	11.794 mg/L
TOK	239 mg/L
Sıcaklık	30 °C
pH	7,1
İletkenlik	5,49 msimens/cm (20,7 °C’ de ölçüm)
Çözünmüş Oksijen	0,44 mg/L (%5,8 doygunlukta)
Toplam Azot	41,1 mg/L TNB
Nitrit	1,03 mg/L NO ₂ ⁻ -N
Nitrat	20,5 mg/L NO ₃ ⁻ -N
Fosfat	3,31 mg/L PO ₄ ³⁻ - P

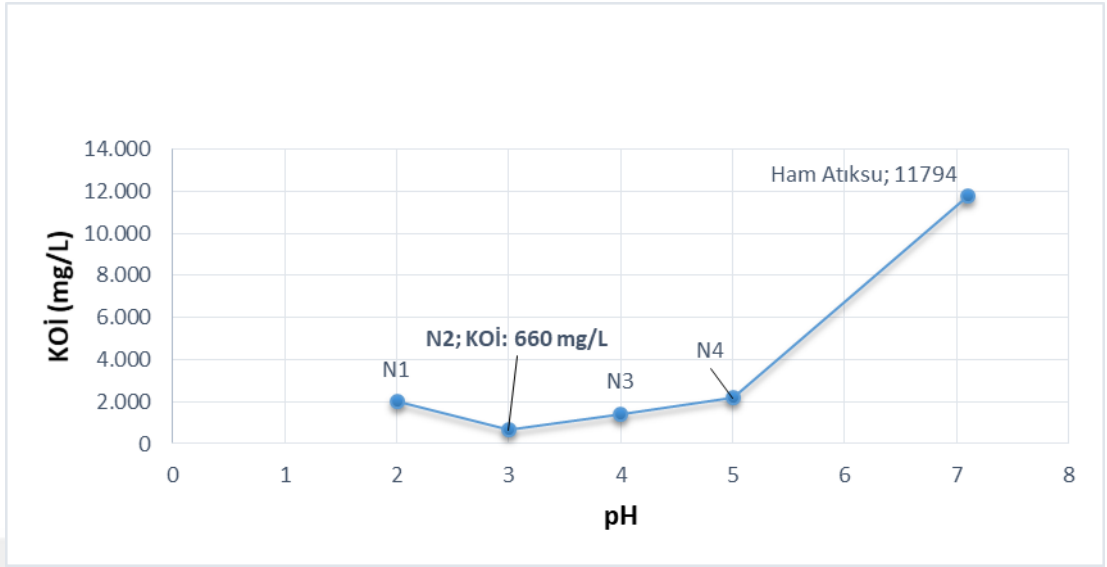
4.1. Klasik Fenton Prosesi Optimizasyon Çalışmaları

4.1.1. Klasik Fenton Prosesine Göre PH Optimizasyonu Deneyleri

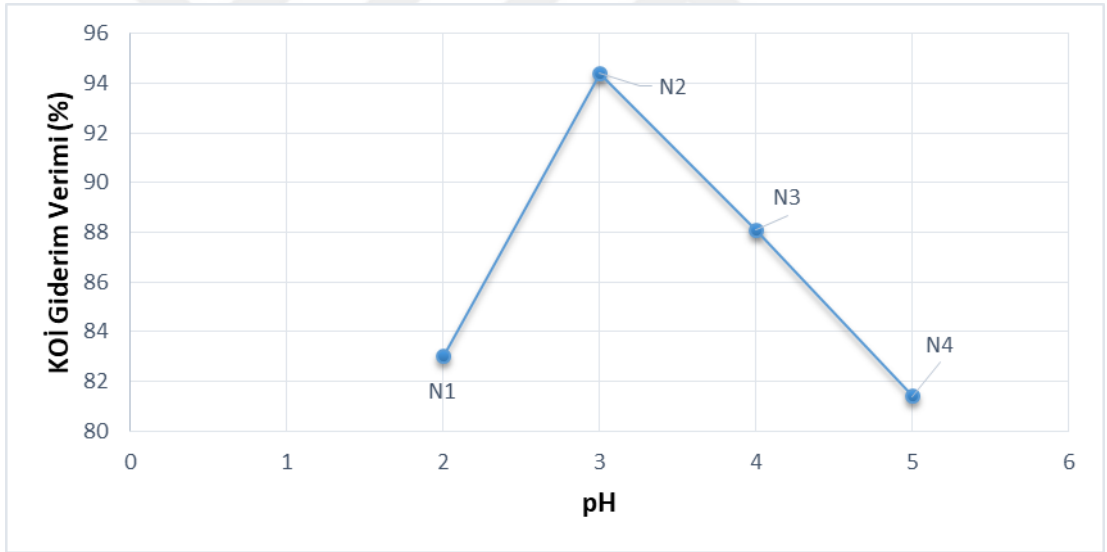
1. çalışmaya kapsamında; ham atıksu pH’ sı 7,1 olup 2, 3, 4, 5 pH’ larda 2250 ppm H₂O₂, 150 ppm FeSO₄, 25 °C sabit değerlerde her biri 200 ml örnek hacimde çalışma yapılmıştır. Çalışma sonuçları tablo 4.2’ de verilmiştir. KOİ giderimi grafiği; şekil 4.1’ de, KOİ giderim verimi grafiği ise şekil 4.2’ de verilmiştir. Yapılan çalışmanın görseli ise resim 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4.2 pH Optimizasyonu Verileri

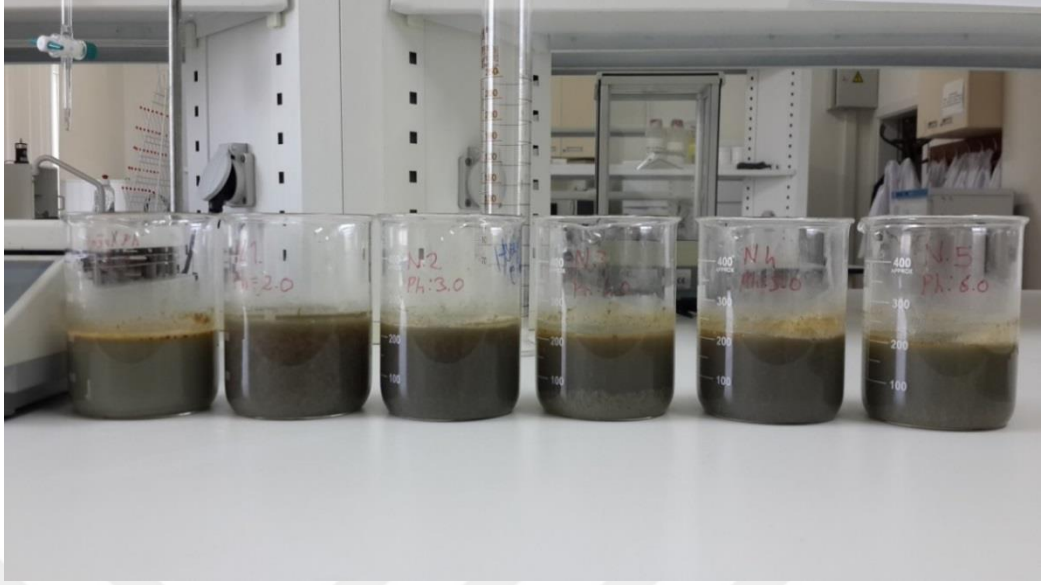
Numune Kodu	pH	KOİ (mg/L)	Standart Sapma	KOİ Giderim Verimi (%)
Ham atıksu	7,1	11.794	± 0,034	-
N1	2	2.005	± 0,028	83,0
N2	3	660	± 0,013	94,4
N3	4	1.408	± 0,011	88,1
N4	5	2.191	± 0,012	81,4



Şekil 4.1 Klasik Fenton Prosesine Göre pH'a Karşılık KOİ Giderim Grafiği



Şekil 4.2 Klasik Fenton Prosesine Göre; Değişken pH 'a Karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği



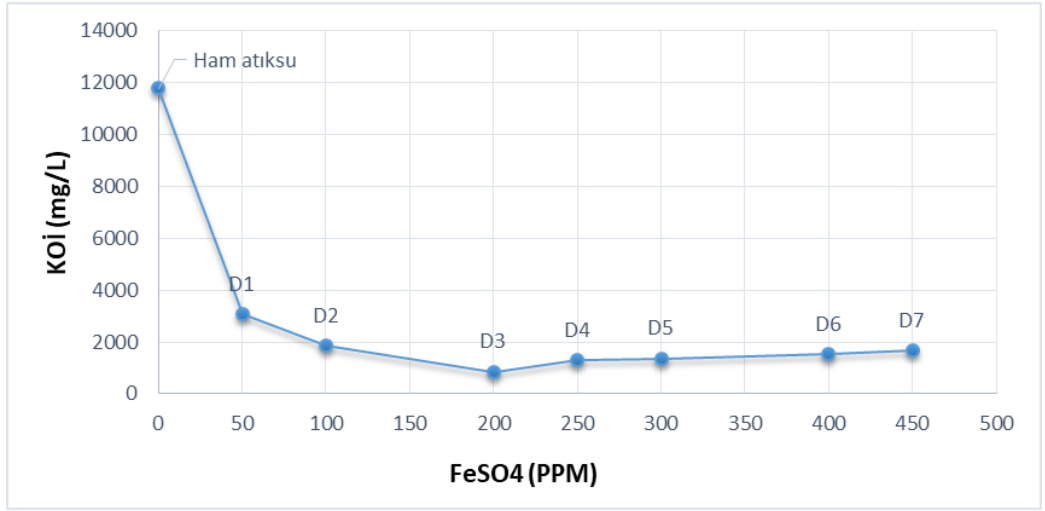
Resim 4.1 Klasik Fenton Prosesine Göre pH Optimizasyonu Deneşleri

4.1.2. Klasik Fenton Prosesine Göre FeSO₄ Optimizasyonu Deneşleri

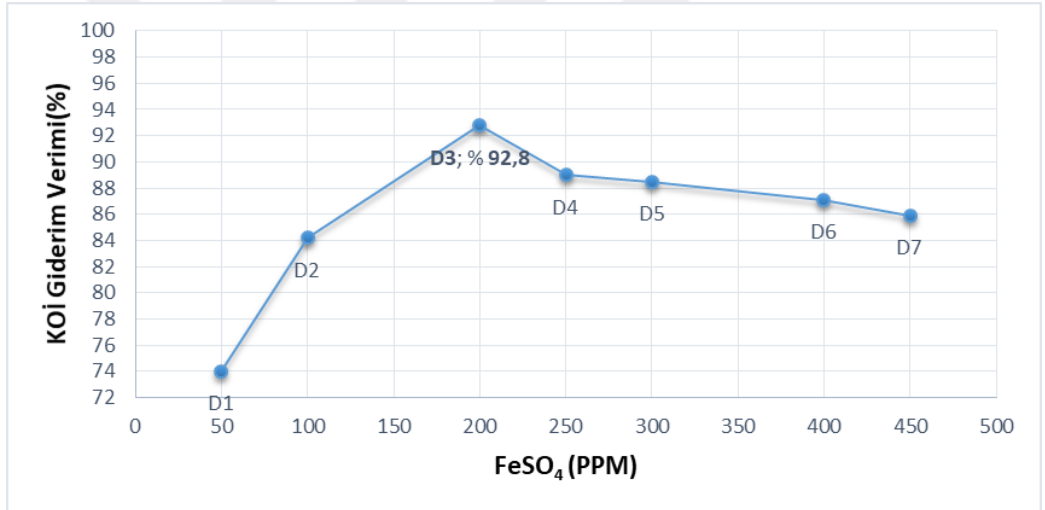
2. çalışma kapsamında; 2250 ppm H₂O₂, pH 3, 25 °C sabit değerlerde, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm, 400 ppm ve 450 ppm FeSO₄ olmak üzere toplam 7 örnek her biri 200 ml örnek hacimde çalışma yapılmıştır. Çalışma sonuçları tablo 4.3' de verilmiştir. KOİ giderimi şekil 4.3' de, KOİ giderim verimi ise şekil 4.4' de verilmiştir. Yapılan çalışmanın görseli ise resim 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4.3 Klasik Fenton Prosesine Göre FeSO₄ Optimizasyonu Verileri

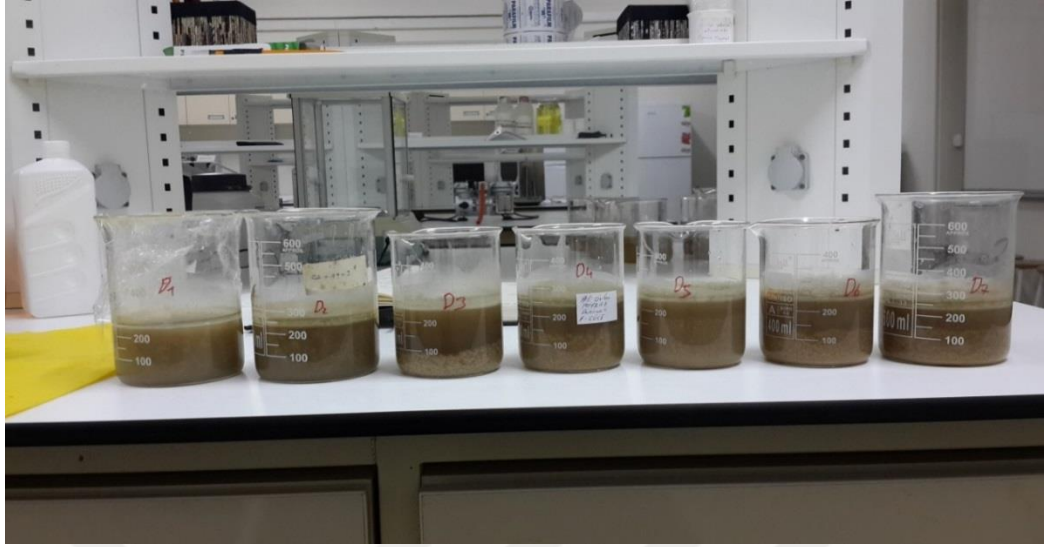
Numune Kodu	H ₂ O ₂ (ppm)	FeSO ₄ (ppm)	KOİ (mg/L)	Standart Sapma	KOİ Giderim Verimi(%)
D1	2250	50	3.063	± 0,006	74,0
D2	2250	100	1.859	± 0,013	84,2
D3	2250	200	846	± 0,014	92,8
D4	2250	250	1.293	± 0,005	89,0
D5	2250	300	1.355	± 0,012	88,5
D6	2250	400	1.518	± 0,004	87,1
D7	2250	450	1.660	± 0,015	85,9



Şekil 4.3 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken FeSO₄ Değerlerine Karşılık KOİ Giderim Grafiği



Şekil 4.4 Klasik Fenton Prosesine Göre; Değişken FeSO₄ Karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği



Resim 4.2 Klasik Fenton Prosesine Göre FeSO₄ Optimizasyonu Deneyleri

4.1.3. Klasik Fenton Prosesine Göre H₂O₂ Optimizasyonu Deneyleri

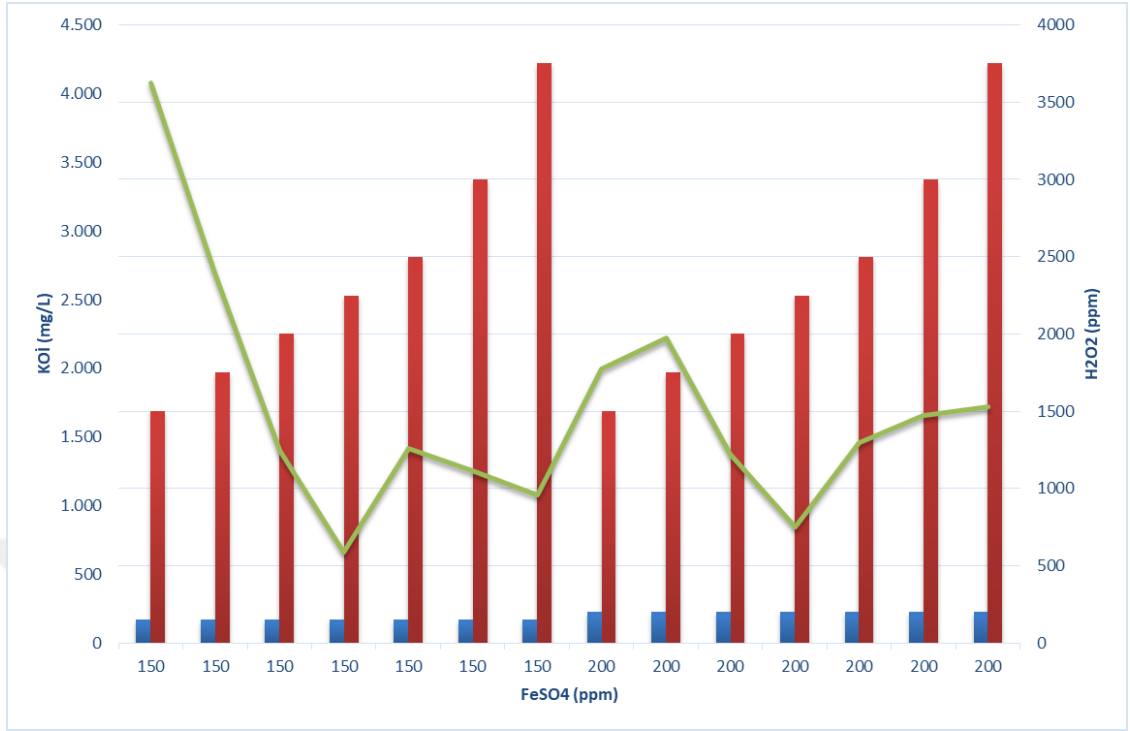
3. çalışma kapsamında; 150 ppm ve 200 ppm FeSO₄, pH 3, 25 °C sabit değerlerde, 1500 ppm, 1750 ppm, 2000 ppm, 2250 ppm, 2500 ppm, 3000 ppm ve 3750 ppm değişken H₂O₂ derişimlerinde toplam 14 numunede her biri 100 ml örnek hacimde çalışma yapılmıştır. Çalışma sonuçları tablo 4.4' de verilmiştir. Değişken derişimlerde KOİ giderimi grafiği şekil 4.5' de KOİ giderim verimi ise şekil 4.6' da verilmiştir. Yapılan çalışmanın görseli ise resim 4.3' de verilmiştir.

Tablo 4.4 Klasik Fenton Prosesine Göre H₂O₂ Optimizasyonu Verileri

Numune Kodu	FeSO ₄ (ppm)	H ₂ O ₂ (ppm)	KOİ (mg/L)	Standart Sapma	KOİ Giderim Verimi (%)
P1	150	1500	4.077	± 0,006	65,4
P2	150	1750	2.692	± 0,004	77,2
P3	150	2000	1.403	± 0,004	88,1
P4*	150	2250	660	± 0,013	94,4
P5	150	2500	1.417	± 0,011	88,0
P6	150	3000	1.253	± 0,010	89,4
P7	150	3750	1.076	± 0,013	90,9
P8	200	1500	1.992	± 0,003	83,1
P9	200	1750	2.222	± 0,012	81,2
P10	200	2000	1.377	± 0,007	88,3
P11**	200	2250	846	± 0,014	92,8
P12	200	2500	1.461	± 0,006	87,6
P13	200	3000	1.660	± 0,006	85,9
P14	200	3750	1.722	± 0,005	85,4

*1. Çalışma verisi

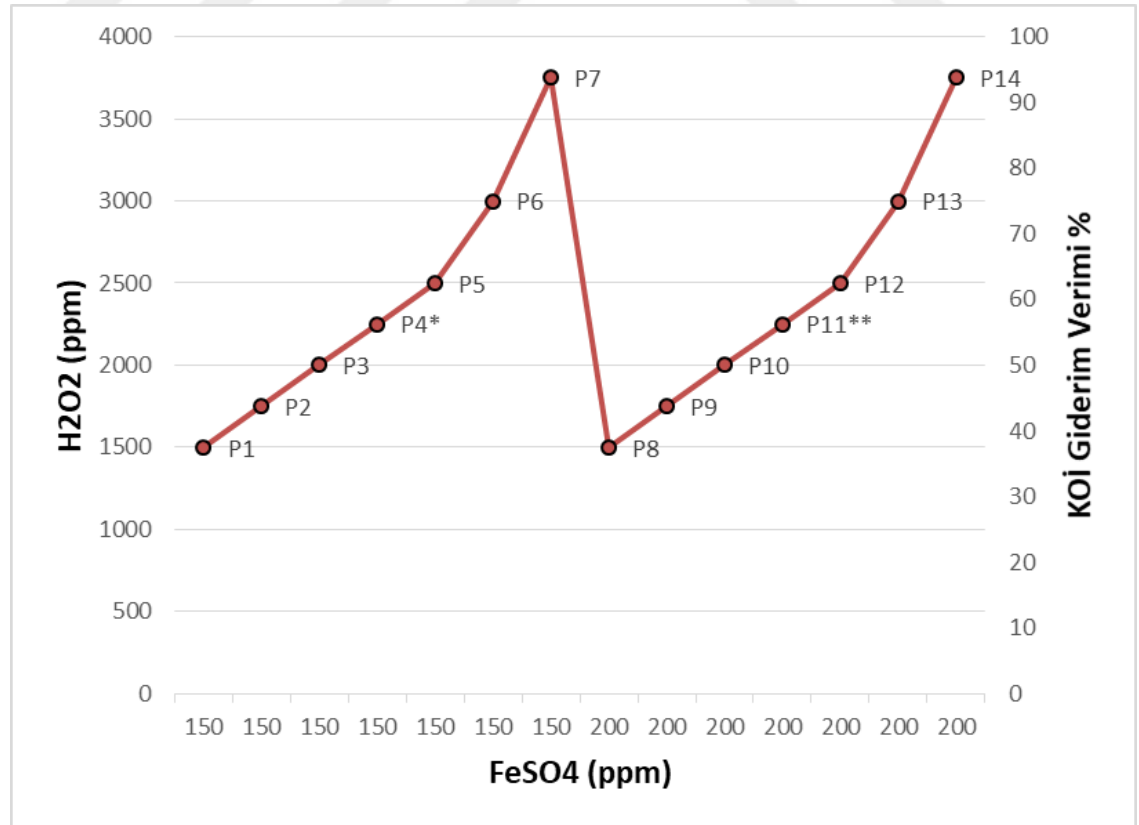
**2. Çalışma verisi



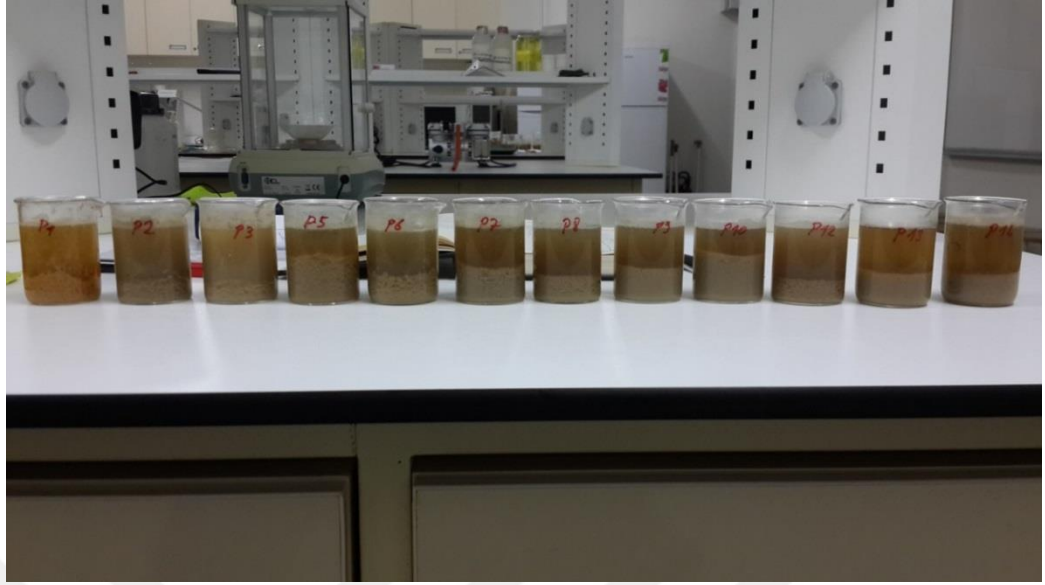
Seri 1: FeSO₄/ H₂O₂ kullanım miktarı

Seri 2: FeSO₄ değişkenine karşılık KOİ (mg/L) Giderim Değeri

Şekil 4.5 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken H₂O₂'ye karşılık KOİ Giderim Grafiği



Şekil 4.6 Klasik Fenton Prosesine Göre; Değişken H₂O₂ Karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği



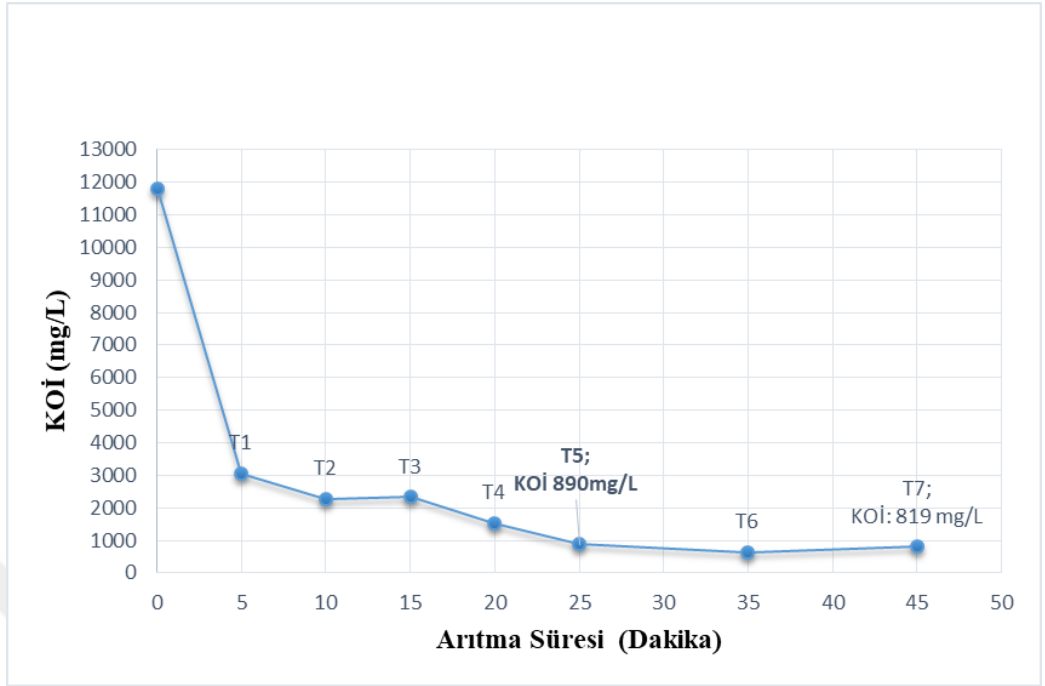
Resim 4.3 Klasik Fenton Prosesine Göre Hidrojen Peroksit (H₂O₂) Optimizasyonu Deneyleri

4.1.4. Klasik Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Deneyleri

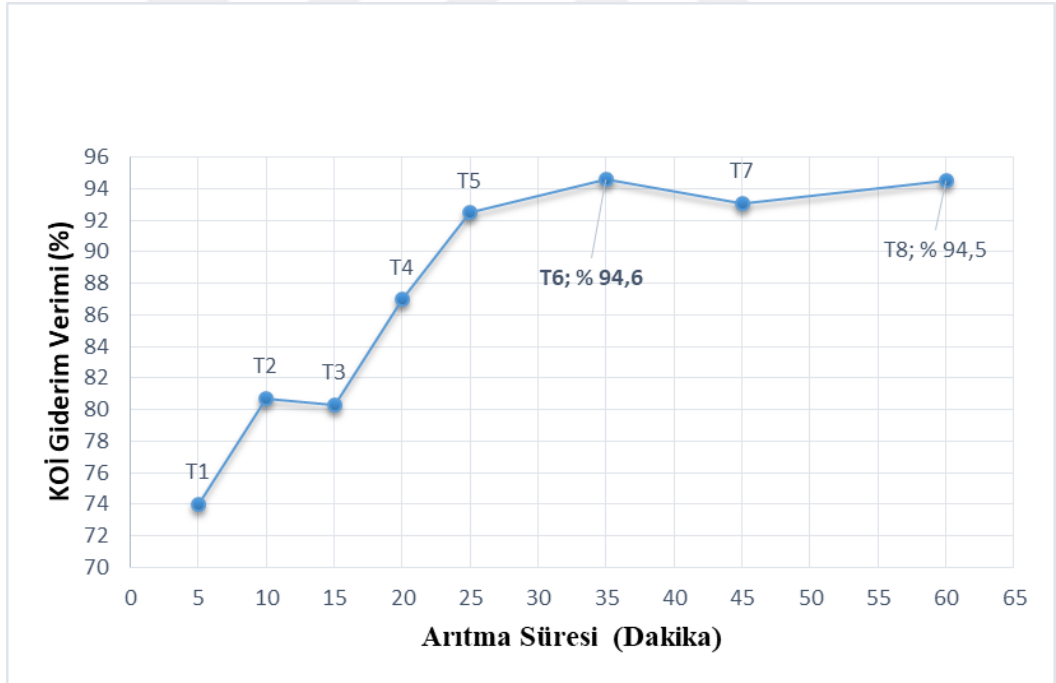
4. çalışma kapsamında; 150 ppm FeSO₄, 2250 ppm H₂O₂, 3 pH, 25 °C sabit değerlerde 5., 10., 15., 20., 25., 35., 45. ve 60. dakikalarda en iyi giderim süreleri çalışılmıştır. Çalışma sonuçları tablo 4.5’ de verilmiştir. KOİ giderimi grafiği şekil 4.7’ de, KOİ giderim verimi şekil 4.8’ de, değişken sürelerde pH giderimi grafiği şekil 4.9’ da, süreye bağlı iletkenlik değişimi şekil 4.10’ da, yapılan çalışmanın görseli ise resim 4.4’ de verilmiştir.

Tablo 4. 5 Klasik Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Verileri

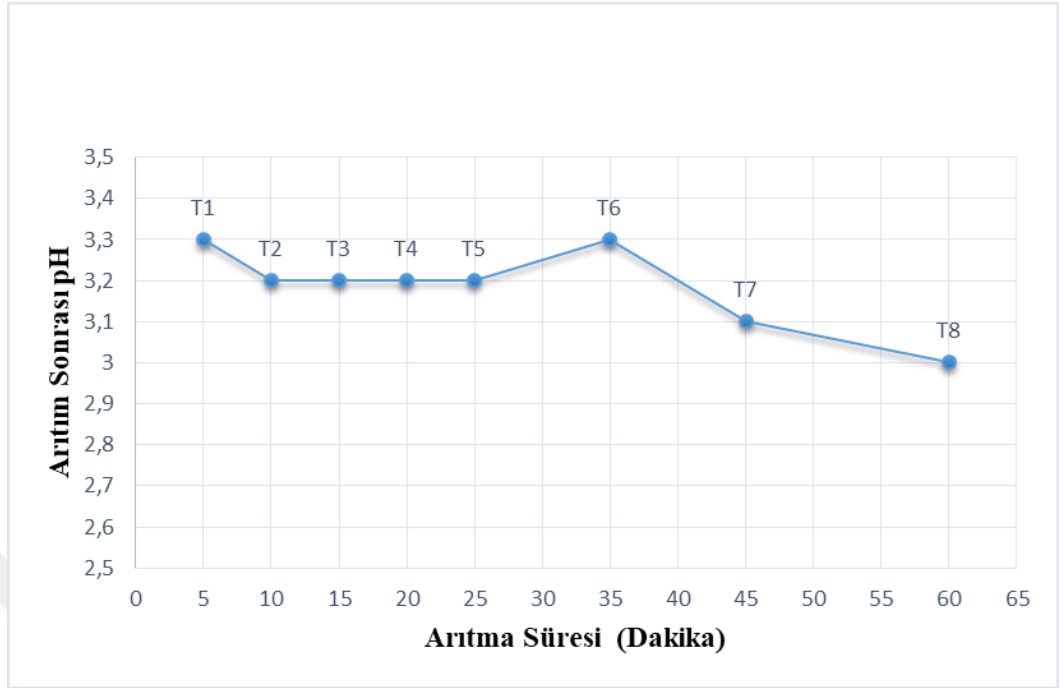
Numune Kodu	Aritma Süresi	KOİ (mg/L)	Standart Sapma	KOİ Giderim Verimi (%)	Aritım Sonrası pH	Aritım Sonrası İletkenlik (msimens/cm)
T1	5 Dakika	3.063	± 0,012	74,0	3,3	7,48
T2	10 Dakika	2.275	± 0,006	80,7	3,2	7,50
T3	15 Dakika	2.324	± 0,011	80,3	3,2	7,59
T4	20 Dakika	1.536	± 0,008	87,0	3,2	7,59
T5	25 Dakika	890	± 0,011	92,5	3,2	7,67
T6	35 Dakika	637	± 0,004	94,6	3,3	7,61
T7	45 Dakika	819	± 0,007	93,1	3,1	7,71
T8	60 Dakika	646	± 0,006	94,5	3,0	7,86



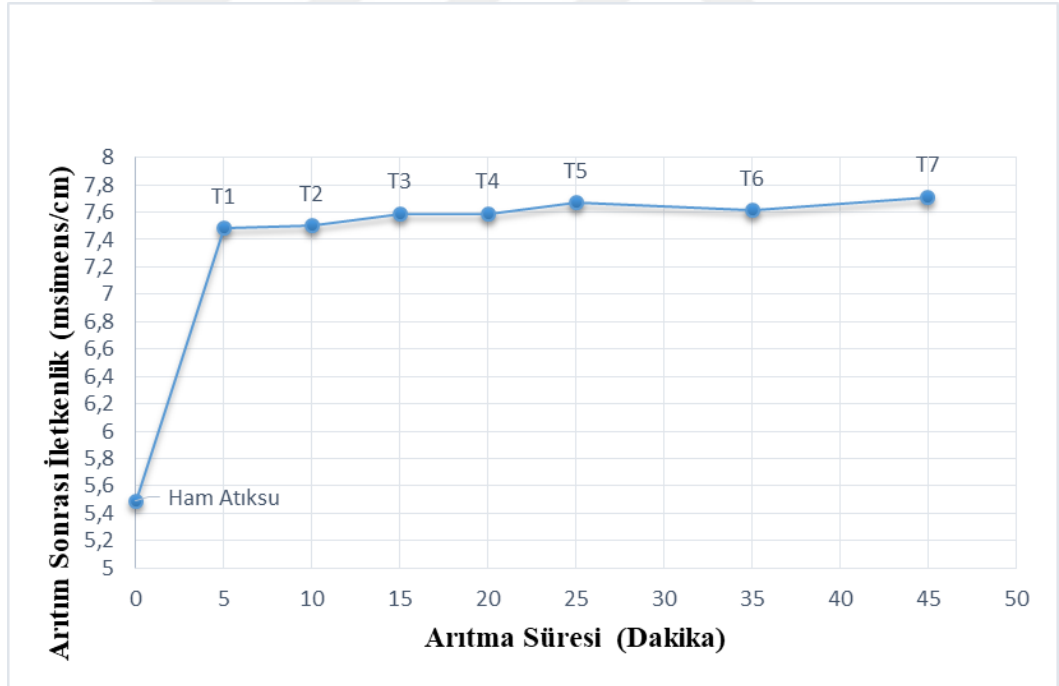
Şekil 4.7 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken Süreye karşılık KOİ Giderim Grafiği



Şekil 4.8 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken Süreye karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği



Şekil 4.9 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken Süreye karşılık pH Grafiği

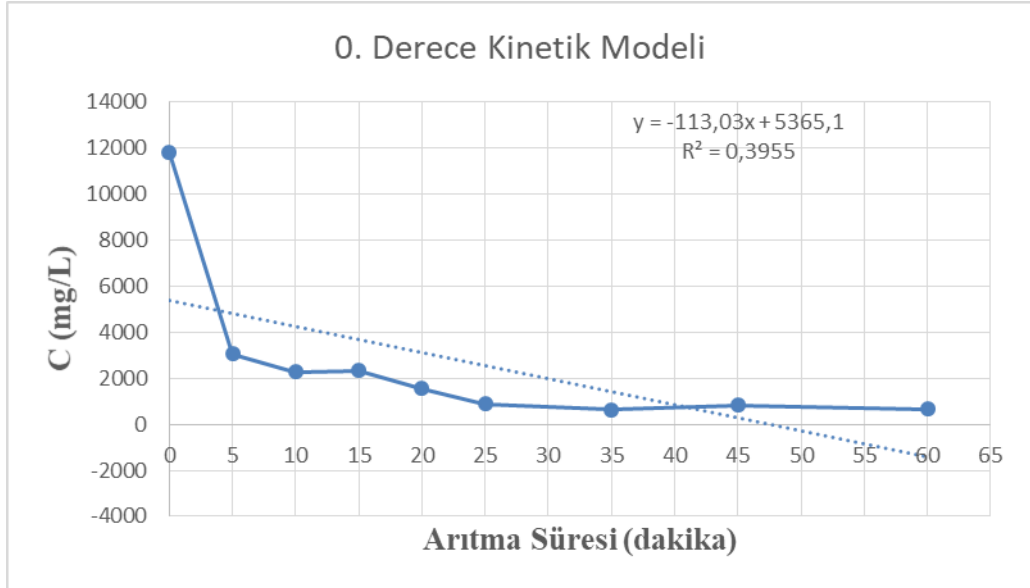


Şekil 4.10 Klasik Fenton Prosesine Göre Değişken Süreye karşılık İletkenlik Değişim Grafiği

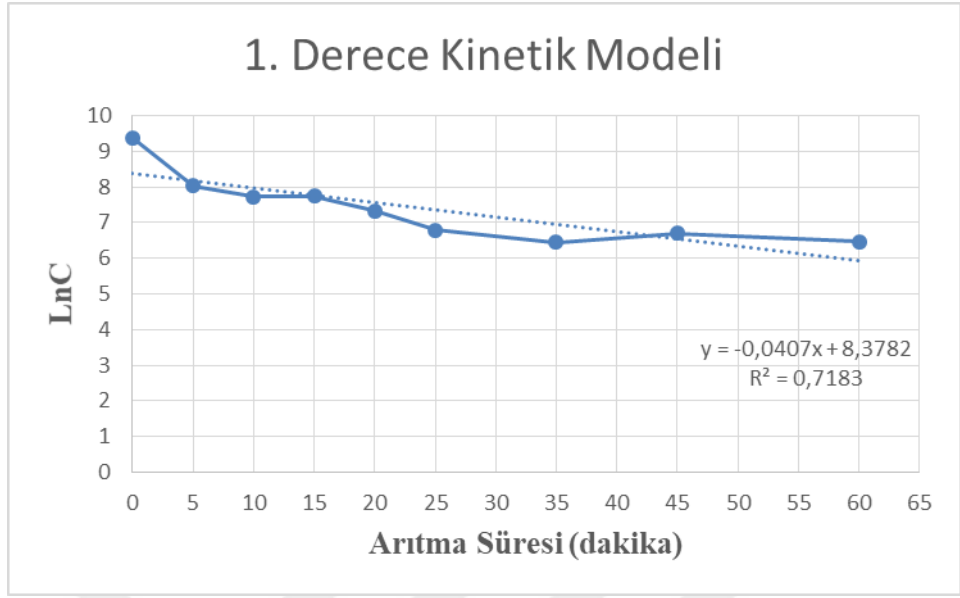


Resim 4.4 Klasik Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Deneyleri

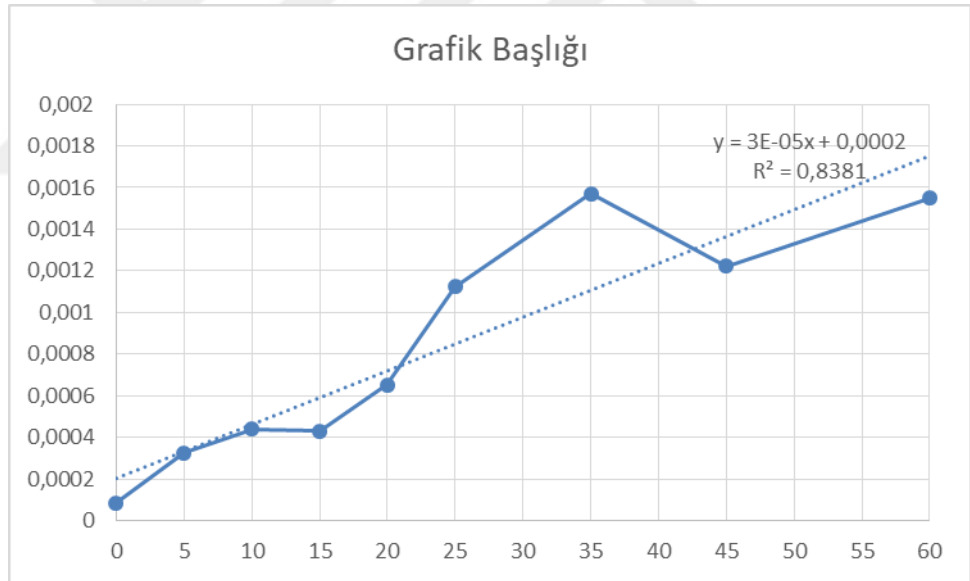
Yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulan verilere göre sıfırıncı, birinci, ikinci ve BMG model kinetikleri uygulanmıştır. Uygun kinetik model BMG kinetik model bulunmuştur. Sıfırıncı (şekil 4.11), birinci (şekil 4.12), ikinci (şekil 4.13) ve BMG model kinetiklerini (şekil 4.14) gösterir grafikler aşağıda verilmiştir.



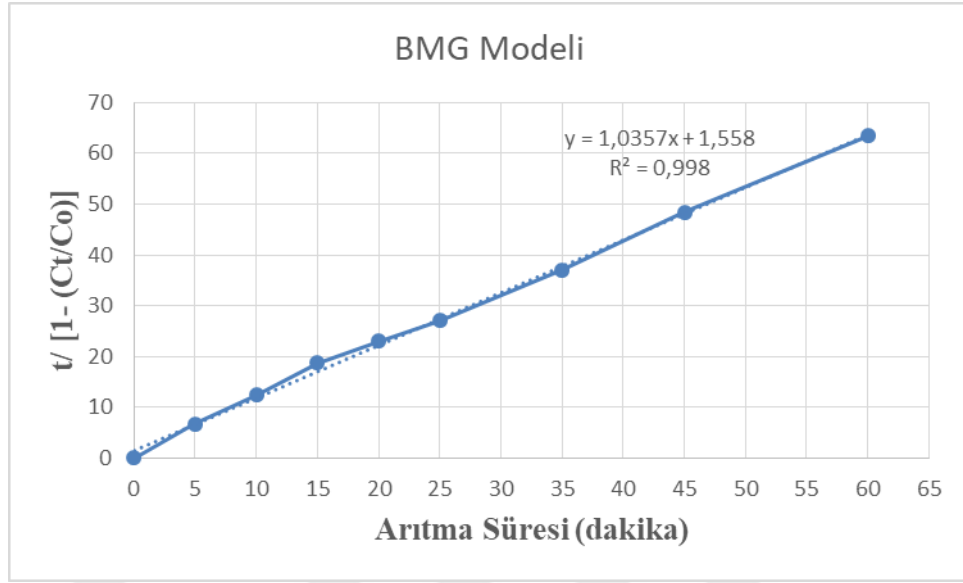
Şekil 4.11 Fenton Prosesine Göre 0. Derece Kinetik Modeli



Şekil 4.12 Fenton Prosesine Göre 1. Derece Kinetik Modeli



Şekil 4.13 Fenton Prosesine Göre 2. Derece Kinetik Modeli



Şekil 4.14 Fenton Prosesine Göre BMG Modeli

Fenton ve Fenton benzeri oksidasyon alanında çalışma yürüten birçok araştırmacı atıksulardan çeşitli kirletici ve renk giderimi konularında kinetik analizler yapmışlar [137-139] ve model uygunluk değerlendirmelerinde bulunmuşlardır. Bu araştırma özelinde ise kinetik deneyleri için ilk olarak 0., 1. ve 2. derece kinetik model çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma sonucu tablo 4.6' da görülmektedir.

Tablo 4.6 0. , 1. ve 2. derece kinetik çalışması

Oksidasyon Prosesi	0. Derece	1. Derece	2. Derece
Fenton	0,3955	0,7183	0,8381

Fenton kinetiği konusunda farklı araştırmacılar tarafından ortaya atılmış kinetik modellere (örneğin Behnajady ve arkadaşlarının geliştirdiği [140] BMG matematiksel modeli) göre uygunluk hesaplamaları yapılmıştır. BMG kinetik modeli şu şekilde ifade edilebilir [141]

$$C_t/C_0 = 1 - [t/(m+b)] \quad 4.1$$

Yapılan regresyon hesaplamaları karşılaştırıldığında çalışma sonuçlarının KOİ gideriminin BMG modeline uygunluğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo 4.7' de gösterilmektedir. Elde edilen verilere göre, korelasyon katsayısı R^2 değeri (0,998), bu metodun kinetik modele uygun olduğunu ve yüksek oksidasyon sağlandığını göstermektedir.

Tablo 4.7 Fenton Prosesine Göre BMG Modeli Verileri

Oksidasyon Prosesi	b	m	R ²
Klasik Fenton	1,0357	1,558	0,998

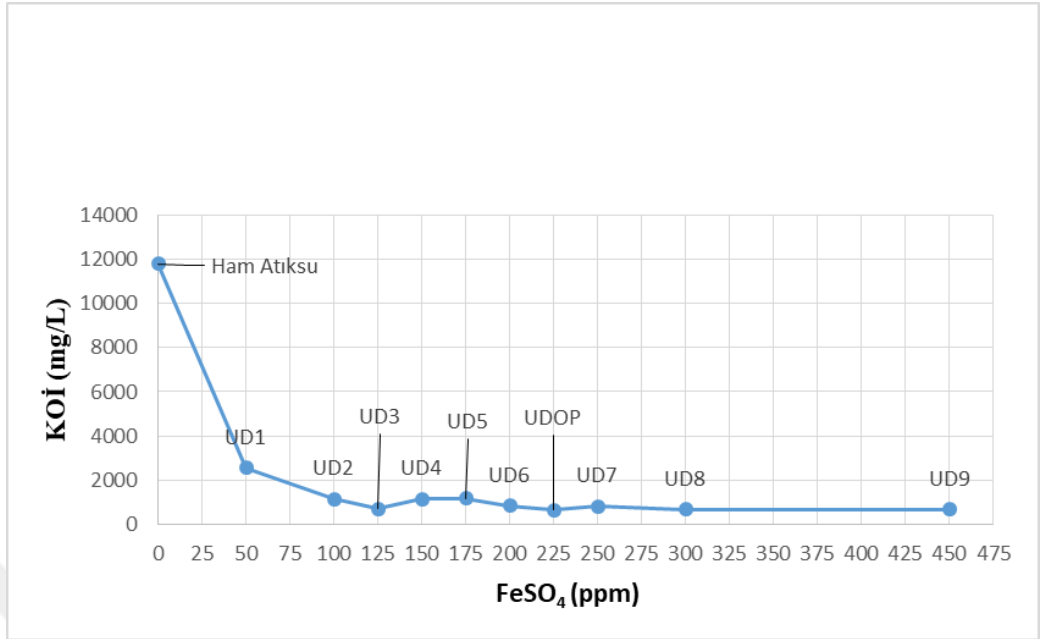
4.2. Foto-Fenton Prosesi Optimizasyon Çalışmaları

4.2.1. Foto-Fenton Prosesine Göre FeSO₄ Optimizasyonu Deneyleri

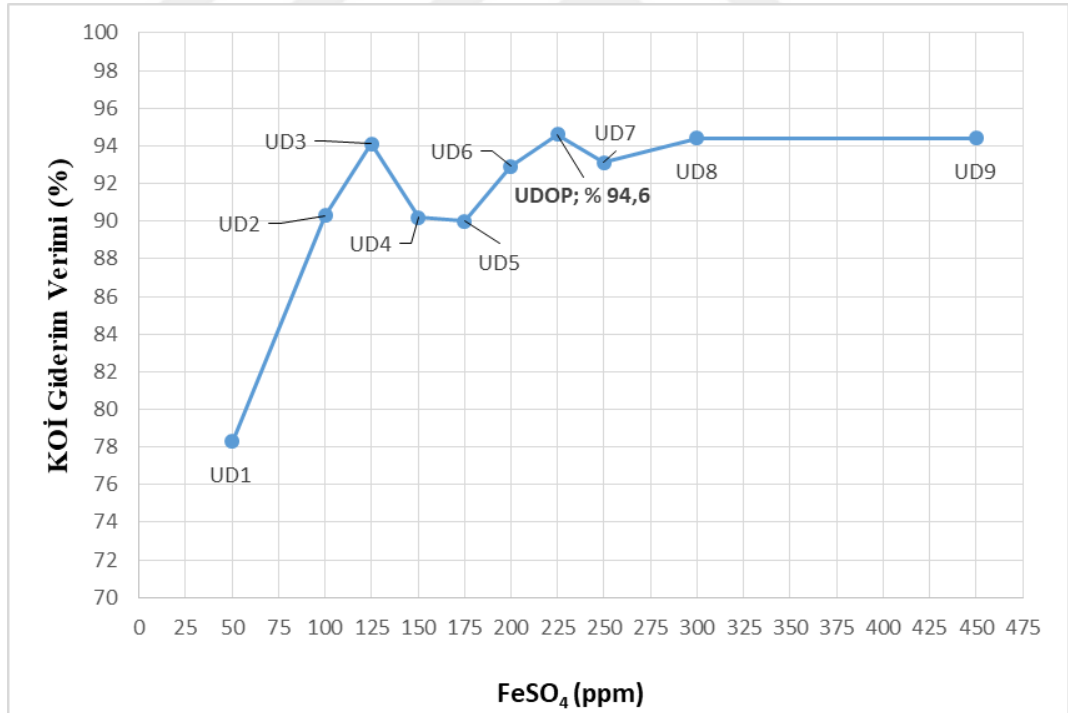
5. çalışma kapsamında; UV-c lamba altında; 2250 ppm H₂O₂, pH 3, 25 °C sabit değerlerde, 50 ppm, 100 ppm, 125 ppm, 150 ppm, 175 ppm, 200 ppm, 225 ppm, 250 ppm, 300 ppm ve 450 ppm farklı derişimlerde FeSO₄ değişkenli, her biri 100 ml örnek hacimde 9 örnekte çalışma yapılmıştır. Çalışma sonuçları tablo 4.8' de verilmiştir. KOİ giderimi grafiği şekil 4.15' de, KOİ giderim verimi grafiği şekil 4.16' da, yapılan çalışma görseli ise resim 4.5' de verilmiştir.

Tablo 4.8 Foto-Fenton Prosesine Göre FeSO₄ Optimizasyonu Verileri

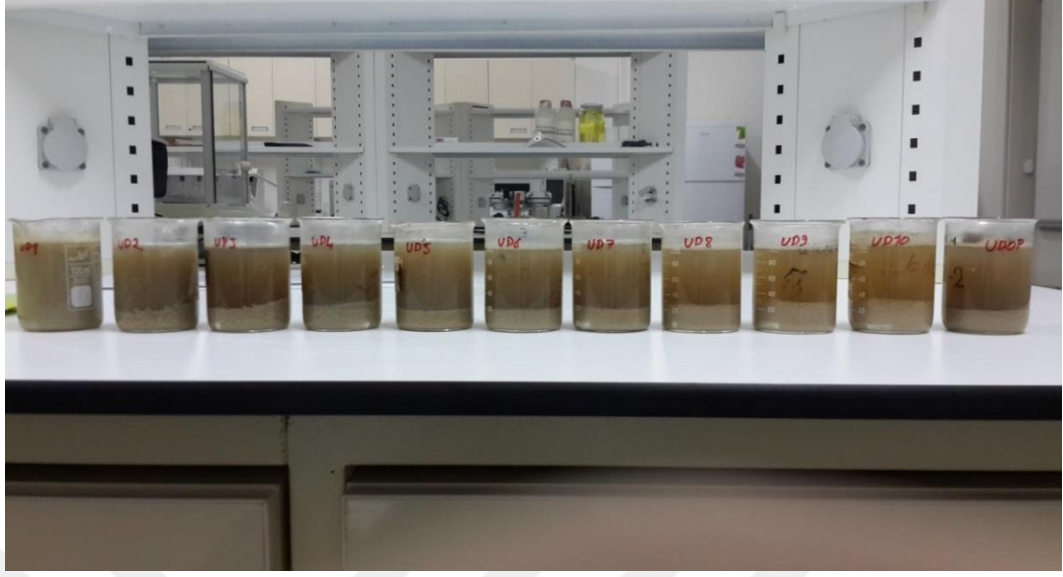
Numune Kodu	FeSO ₄ (ppm)	H ₂ O ₂ (ppm)	KOİ (mg/L)	Standart Sapma	KOİ Giderim Verimi (%)
UD1	50	2000	2.559	± 0,006	78,3
UD2	100	2000	1.142	± 0,008	90,3
UD3	125	2000	695	± 0,004	94,1
UD4	150	2000	1.151	± 0,006	90,2
UD5	175	2000	1.176	± 0,006	90,0
UD6	200	2000	841	± 0,016	92,9
UDOP	225	2000	637	± 0,005	94,6
UD7	250	2000	819	± 0,008	93,1
UD8	300	2000	664	± 0,008	94,4
UD9	450	2000	660	± 0,001	94,4



Şekil 4.15 Foto-Fenton Prosesine Göre Değişken FeSO₄'e karşılık KOİ Giderim Grafiği



Şekil 4.16 Foto-Fenton Prosesine Göre Değişken FeSO₄'e karşılık KOİ Verimi Grafiği



Resim 4.5 Foto-Fenton Prosesine Göre FeSO₄ Optimizasyonu DeneYleri

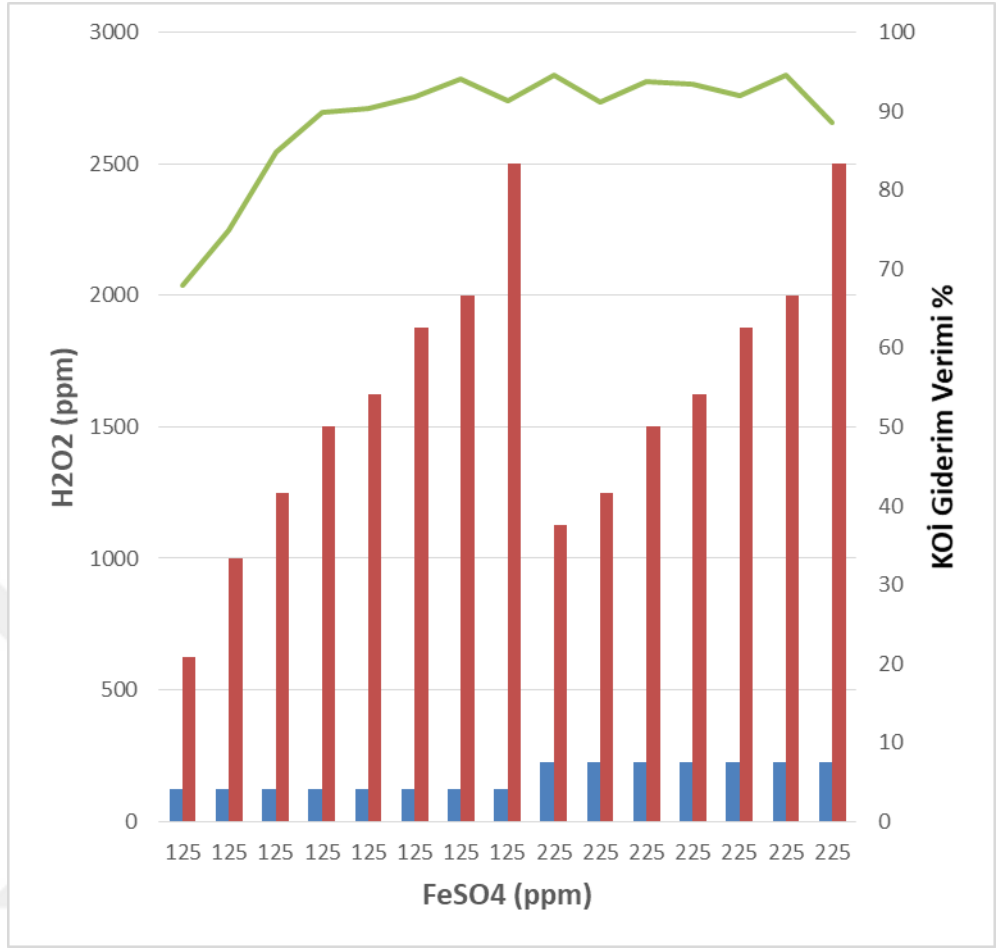
4.2.2. Foto-Fenton Prosesine Göre H₂O₂ Optimizasyonu DeneYleri

6. çalışma kapsamında; UV-c lamba altında; 125 ppm ve 225 ppm FeSO₄, pH 3, 25 °C sabit değerlerde, 625 ppm, 1000 ppm, 1250 ppm, 1500 ppm, 1625 ppm, 1875 ppm, 2250 ppm ve 2500 ppm değişkenli H₂O₂ derişimlerinde her biri 100 ml örnek hacimde 15 örnekte çalışma yapılmıştır. Çalışma sonuçları tablo 4.9' da verilmiştir. Farklı derişimlere bağlı KOİ giderimi grafiği şekil 4.17' de, KOİ giderim verimi şekil 4.18' de, yapılan çalışmanın görseli resim 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.9 Foto-Fenton Prosesine Göre H₂O₂ Optimizasyonu Verileri

Numune Kodu	FeSO ₄ (ppm)	H ₂ O ₂ (ppm)	KOİ (mg/L)	Standart Sapma	KOİ Giderim Verimi (%)
UVH1	125	625	3.781	± 0,009	67,9
UVH2	125	1000	2.944	± 0,010	75,0
UVH3	125	1250	1.797	± 0,011	84,8
UVH4	125	1500	1.191	± 0,009	89,9
UVH5	125	1625	1.138	± 0,005	90,4
UVH6	125	1875	961	± 0,008	91,9
UVH7*	125	2000	695	± 0,004	94,1
UVH8	125	2500	1.009	± 0,008	91,4
UVH9	225	1125	642	± 0,006	94,6
UVH10	225	1250	1.036	± 0,005	91,2
UVH11	225	1500	739	± 0,004	93,7
UVH12	225	1625	770	± 0,007	93,5
UVH13	225	1875	939	± 0,006	92,0
UVH14*	225	2000	637	± 0,005	94,6
UVH15	225	2500	1.346	± 0,009	88,6

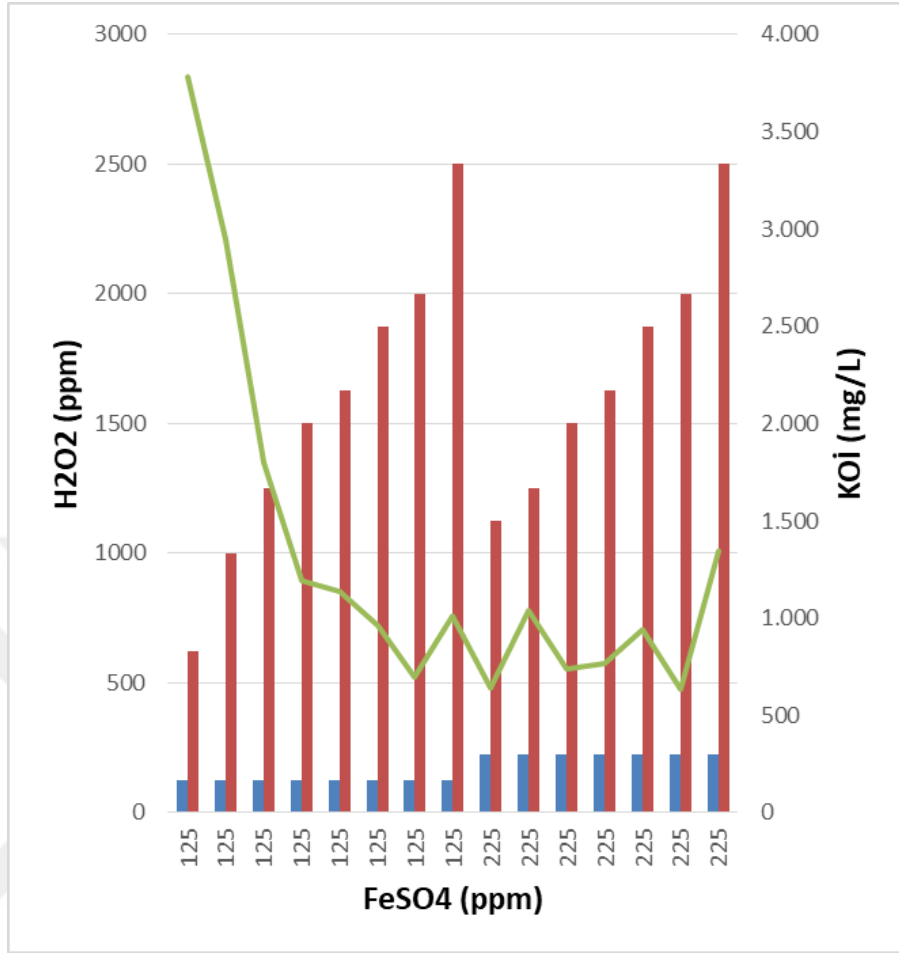
*5.çalışma verisi



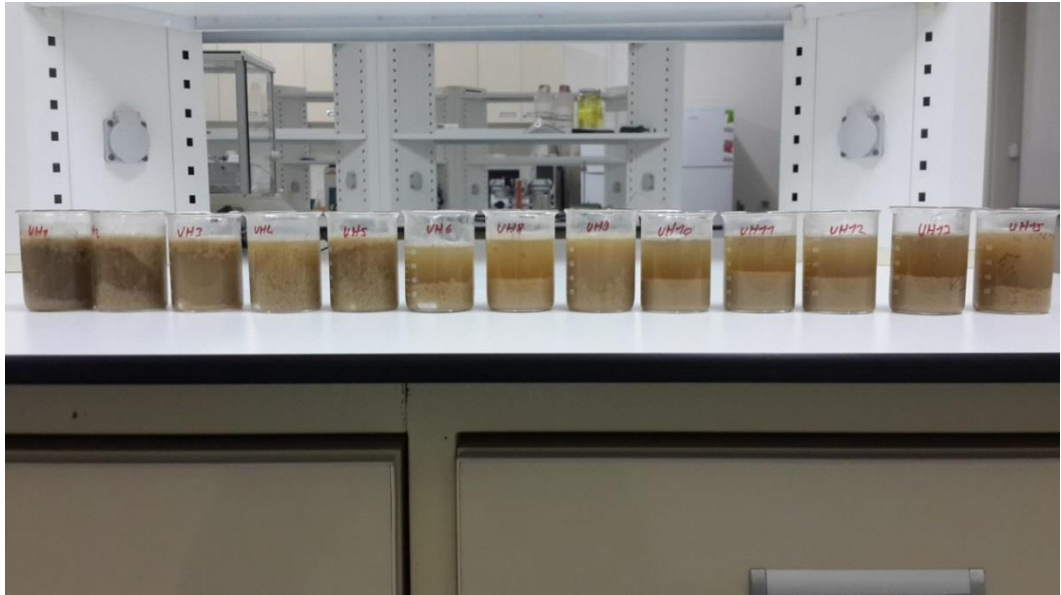
Seri 1: $FeSO_4 / H_2O_2$ kullanım miktarı

Seri 2: $FeSO_4$ değişkenine karşılık KOİ (mg/L) Giderim Değeri

Şekil 4.17 Foto-fenton Prosesine Göre Değişken H_2O_2 'ye karşılık KOİ Giderim Grafiği



Şekil 4.18 Foto-fenton Prosesine Göre Değişken H_2O_2 'ye karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği



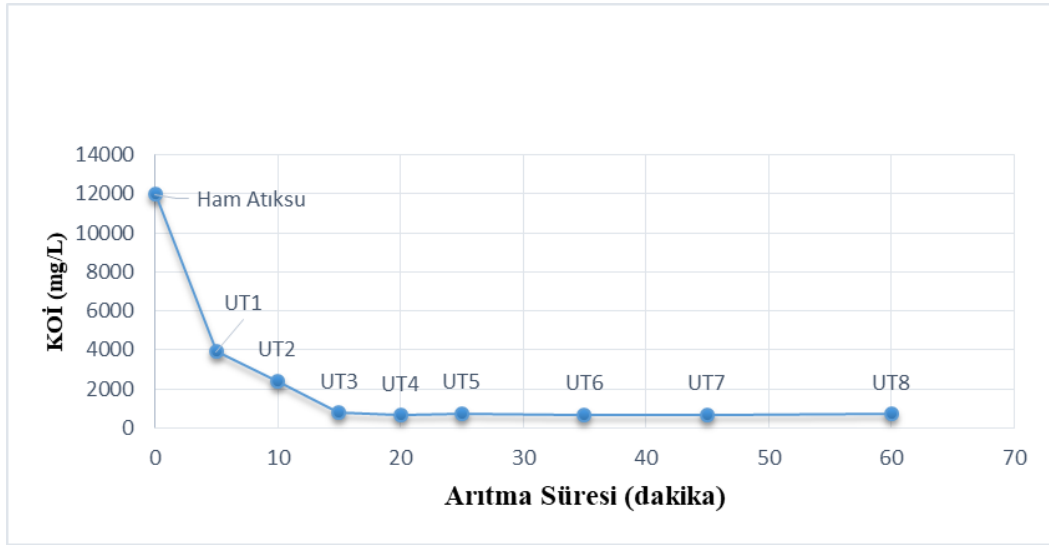
Resim 4.6 Foto-Fenton Prosesine Göre H_2O_2 Optimizasyonu Deneyleri

4.2.3. Foto-Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Deneyleri

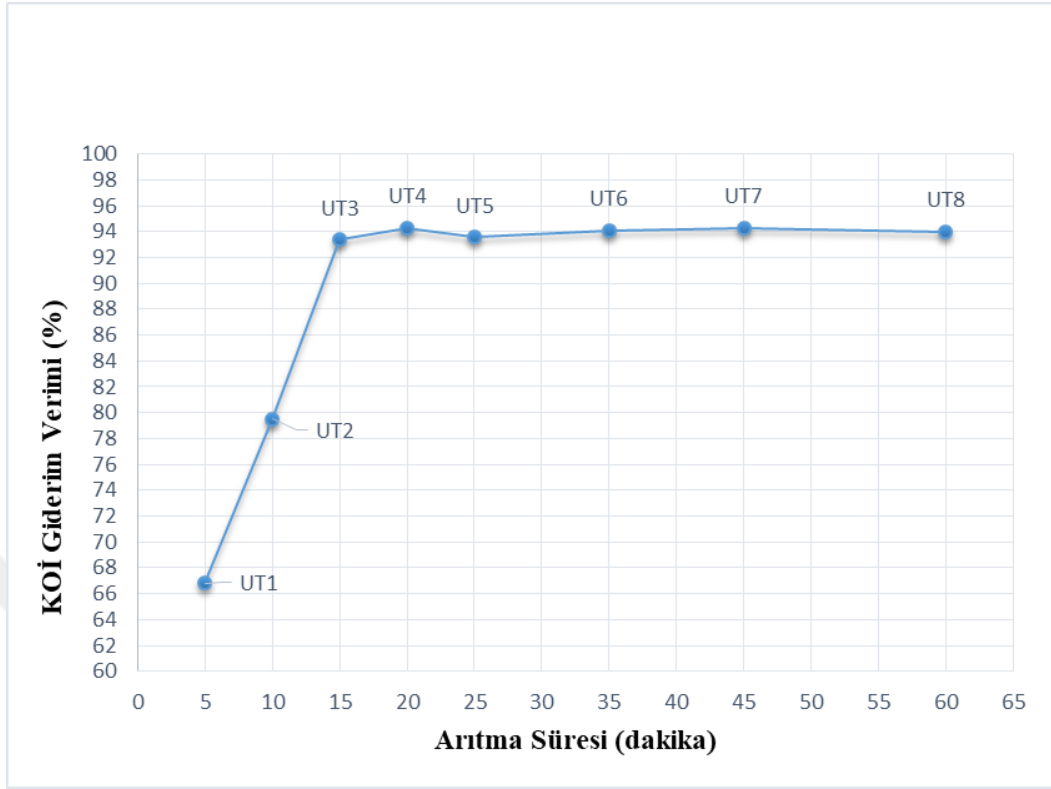
7. çalışma kapsamında; UV-c lamba altında; 125 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, 3 pH, 25 °C sabit değerlerde 5., 10., 15., 20., 25., 35., 45. ve 60. dakikalarda en iyi giderim süreleri çalışılmıştır. Çalışma sonuçları tablo 4.10' da verilmiştir. KOİ giderimi şekil 4.19' da, süreye bağlı KOİ giderimi verimi grafiği şekil 4.20' de, süreye bağlı pH değişim grafiği şekil 4.21' de, süreye bağlı iletkenlik değişimi grafiği şekil 4.22' de, yapılan çalışmanın görseli resim 4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.10 Foto-Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Verileri

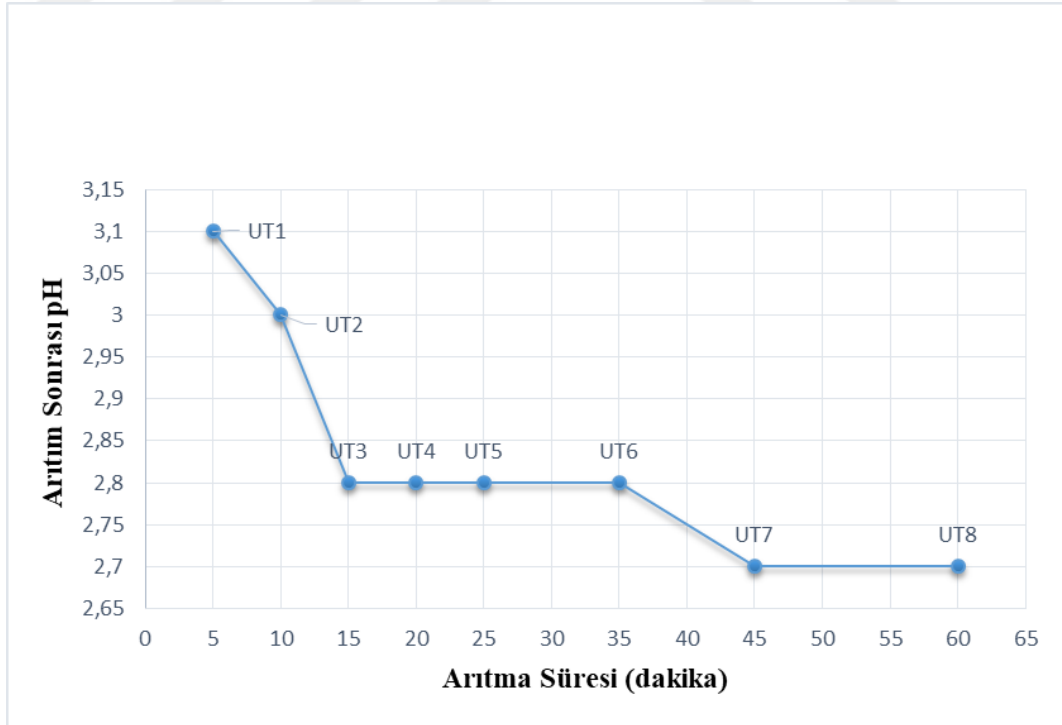
Numune Kodu	Aritma Süresi	KOİ (mg/L)	Standart Sapma	KOİ Giderim Verimi (%)	Aritim Sonrası pH	Aritim Sonrası İletkenlik (msimens/cm)
UT1	5 Dakika	3.913	± 0,009	66,8	3,1	7,89
UT2	10 Dakika	2.422	± 0,003	79,5	3	8,09
UT3	15 Dakika	779	± 0,001	93,4	2,8	8,17
UT4	20 Dakika	668	± 0,002	94,3	2,8	8,20
UT5	25 Dakika	757	± 0,004	93,6	2,8	8,23
UT6	35 Dakika	695	± 0,004	94,1	2,8	8,26
UT7	45 Dakika	673	± 0,001	94,3	2,7	8,31
UT8	60 Dakika	708	± 0,004	94,0	2,7	8,48



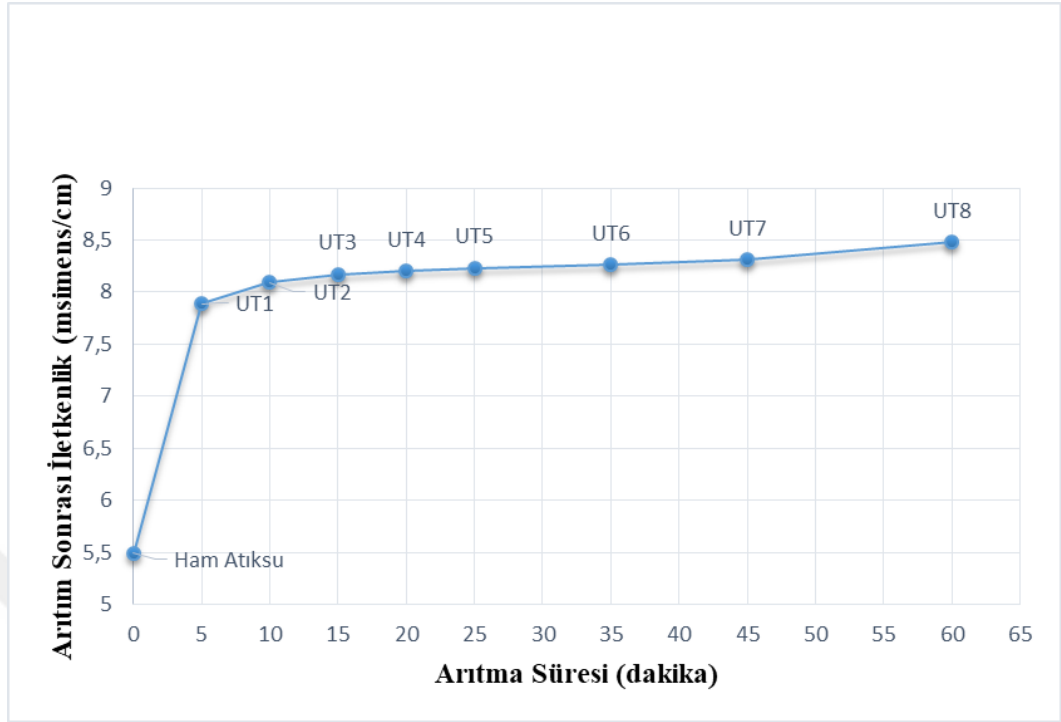
Şekil 4. 19 Foto-fenton Prosesine Göre Optimum Koşullarda KOİ Giderim Grafiği



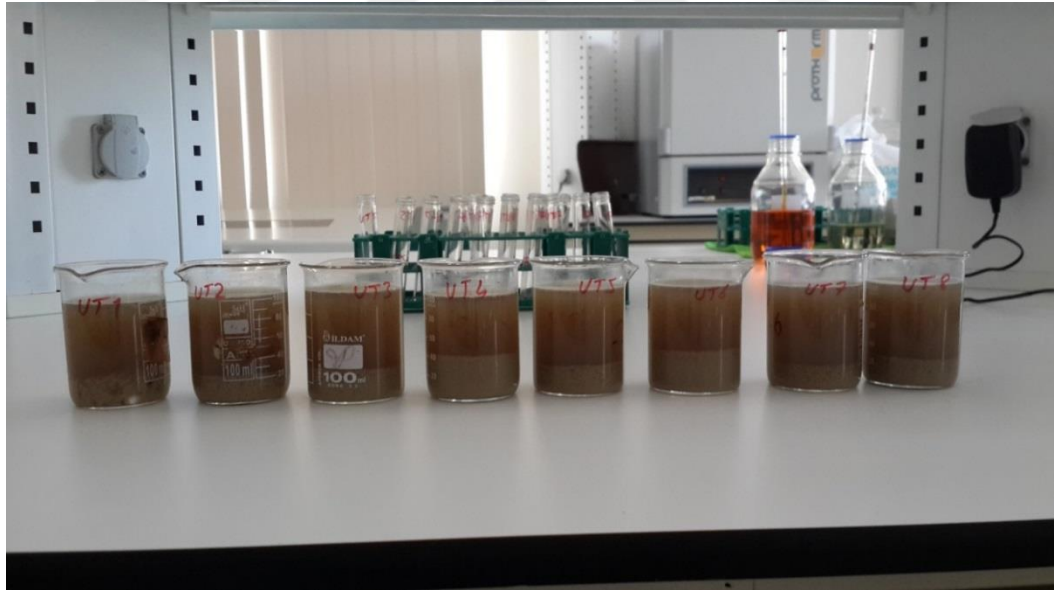
Şekil 4.20 Foto-fenton Prosesine Göre Optimum Koşullarda KOİ Giderim Verimi Grafiği



Şekil 4.21 Foto-fenton Prosesine Göre Süreye Karşılık pH Grafiği

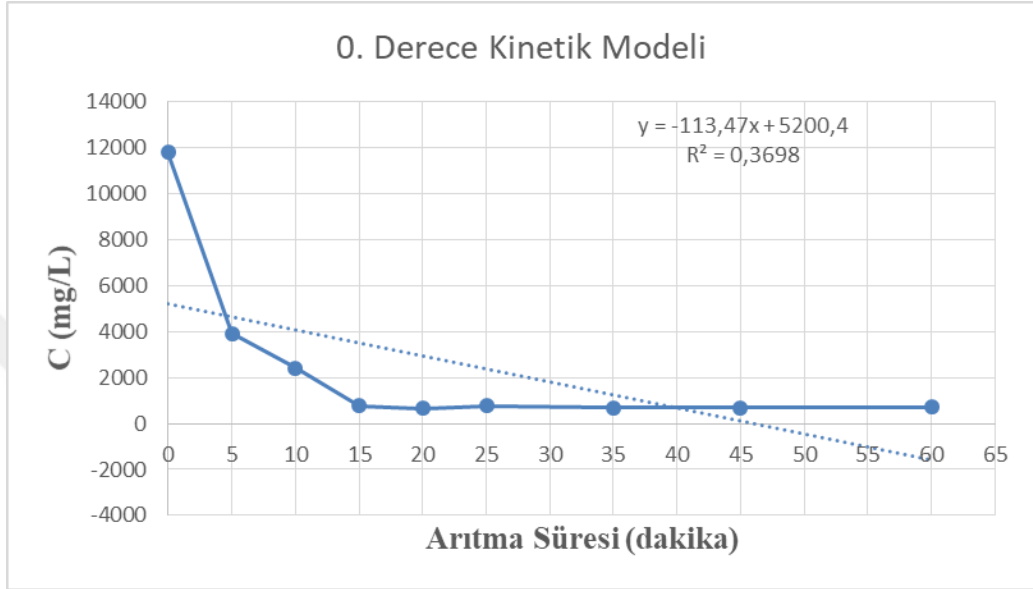


Şekil 4.22 Foto-fenton Prosesine Göre Değişken Süreye Karşılık İletkenlik Değişim Grafiği

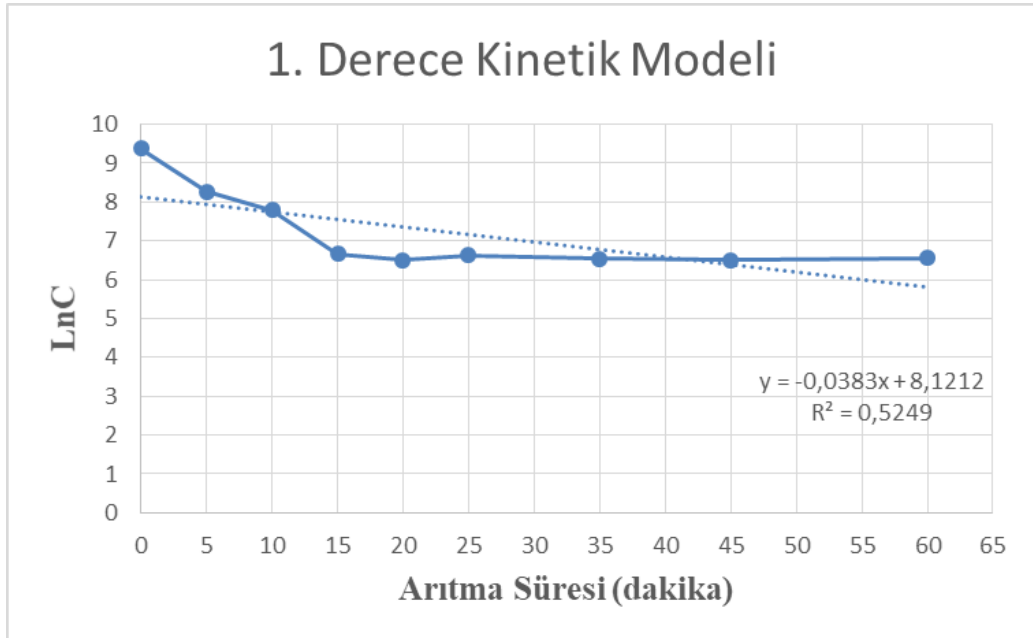


Resim 4.7 Foto-Fenton Prosesine Göre Giderim Süreleri Deneyleri

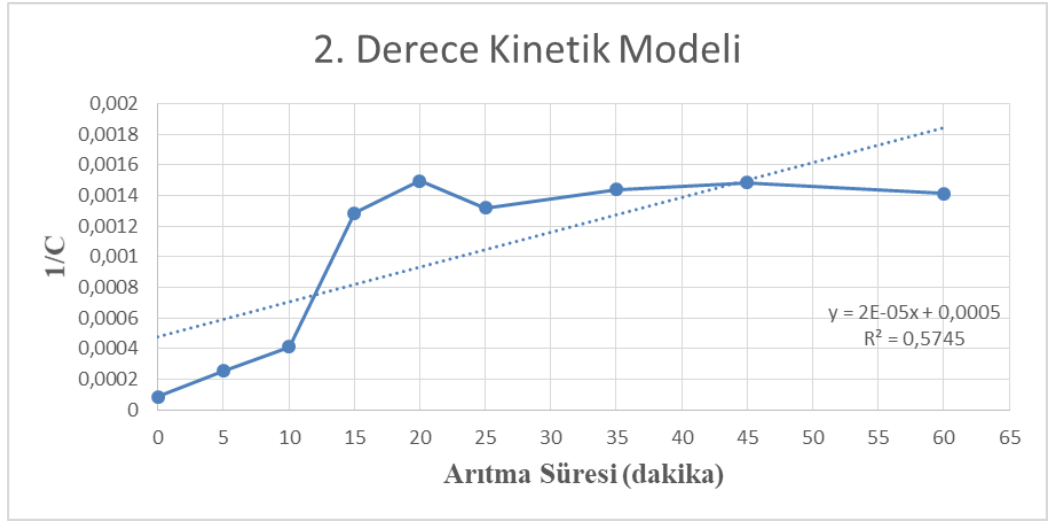
Yapılan deneylere göre çıkan veriler ışığında 0. Dereceden (şekil 4.23), 1. Dereceden (şekil 4.24), 2. Dereceden (şekil 4.25) ve BMG Modeline (şekil 4.26) göre oluşturulan grafikler aşağıda verilmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere BMG Modeli en uygun olduğu belirlenmiştir.



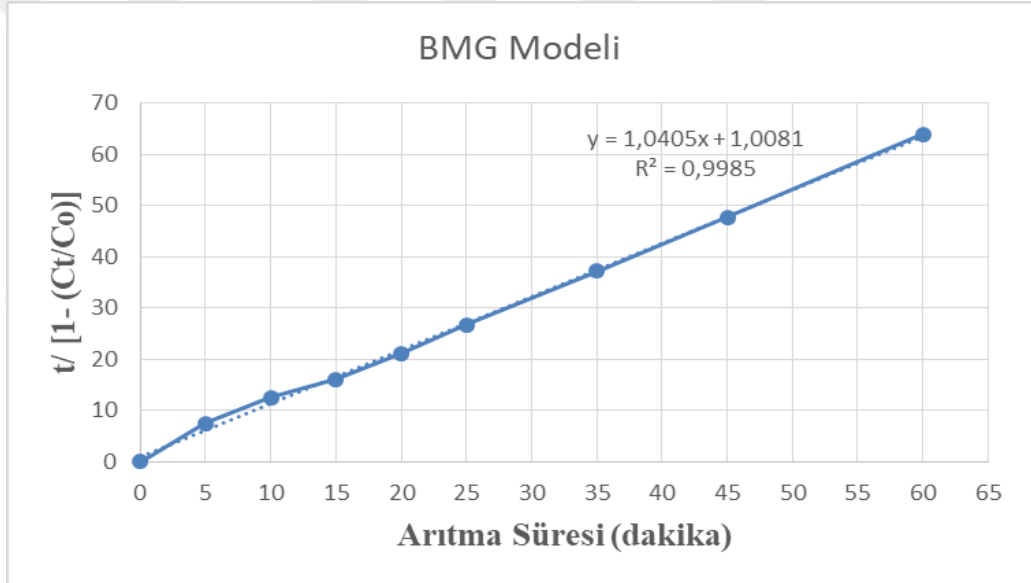
Şekil 4.23 Foto-Fenton Prosesine Göre 0. Derece Kinetik Modeli



Şekil 4.24 Foto-Fenton Prosesine Göre 1. Derece Kinetik Modeli



Şekil 4.25 Foto-Fenton Prosesine Göre 2. Derece Kinetik Modeli



Şekil 4.26 Foto-Fenton Prosesine Göre BMG Modeli

Foto-fenton prosesine göre KOİ giderim verimi adına BMG modelinde daha iyi bir oksidasyon sağlandığı tablo 4.11' de daha iyi anlaşılmaktadır. Tablo 4.12' de BMG modeli verileri bulunmaktadır.

Tablo 4.11 0. , 1. ve 2. derece kinetik çalışması

Oksidasyon Prosesi	0. Derece	1. Derece	2. Derece
Foto-fenton	0,3698	0,5249	0,5745

Tablo 4.12 Foto-fenton Prosesine Göre BMG Modeli Verileri

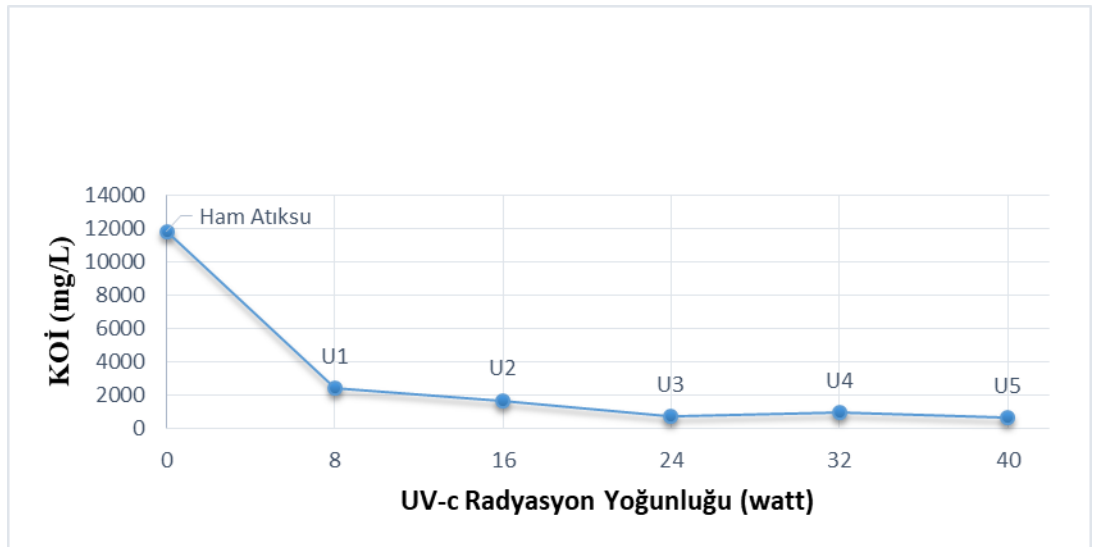
Oksidasyon Prosesi	b	m	R ²
Foto-fenton	1,0405	1,0081	0,9985

4.2.4. Foto-Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğu Deneyleri

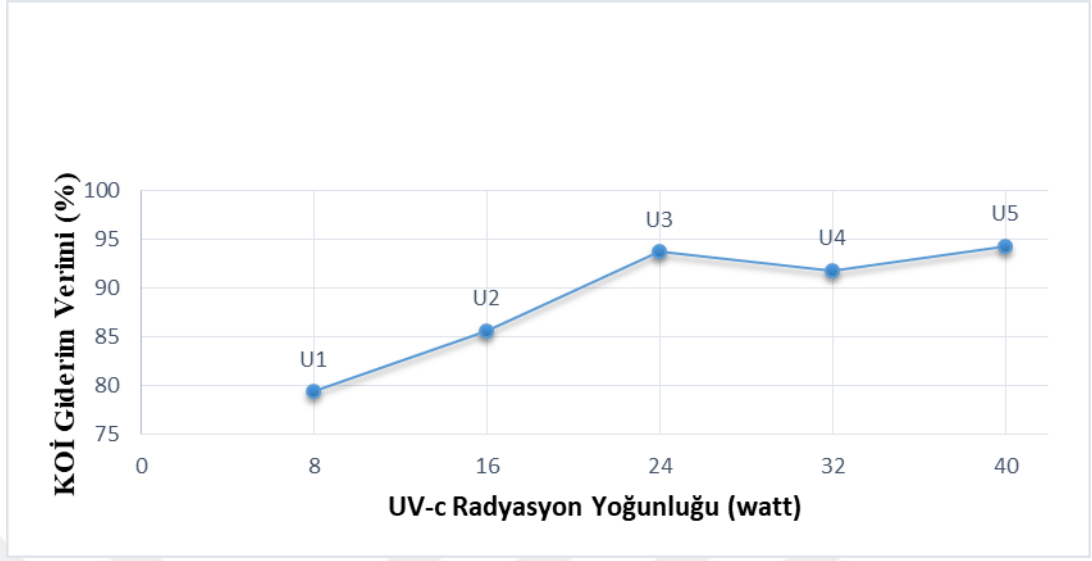
8. çalışma kapsamında; 125 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, 3 pH, 25 °C, 20 dakika reaksiyon süresi sabit değerlerde 8 watt, 16 watt, 24 watt, 32 watt ve 40 watt UV-c lamba altında ışık yoğunluğu optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sonuçları tablo 4.13’ de verilmiştir. KOİ giderim grafiği şekil 4.27’ de, KOİ giderimi verimi şekil 4.28’ de, ışık yoğunluğuna değişkenine bağlı pH değişim grafiği şekil 4.29’ da, ışık yoğunluğuna bağlı iletkenlik değişimi şekil 4.30’ da verilmiştir. Yapılan çalışmanın görseli resim 4.8’ de verilmektedir.

Tablo 4.13 Foto-Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğu Verileri

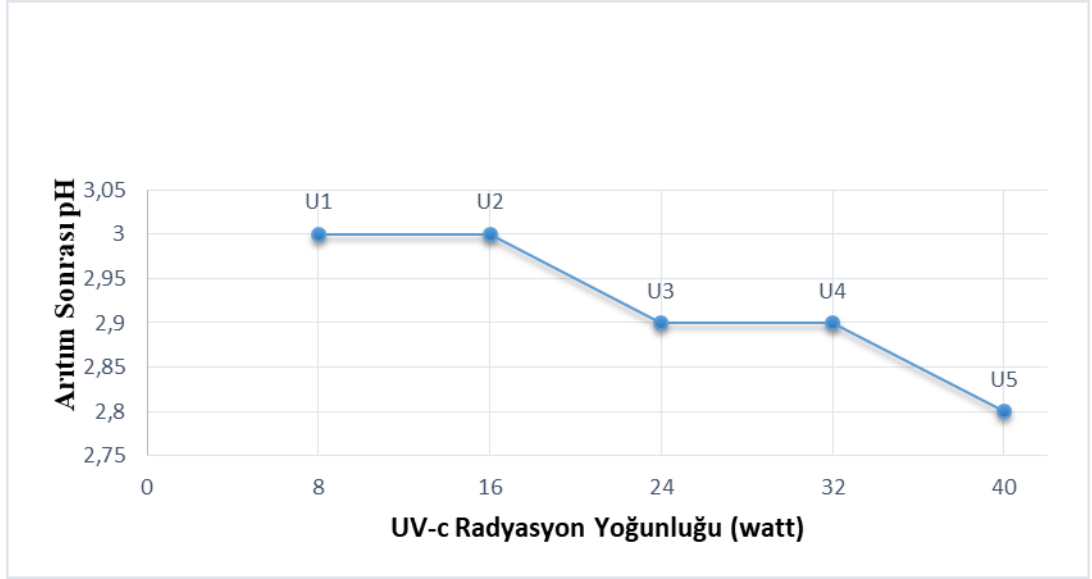
Numune Kodu	UV-c Radyasyon Yoğunluğu (watt)	KOİ (mg/L)	Standart Sapma	KOİ Giderim Verimi (%)	Aritım Sonrası pH	Aritım Sonrası İletkenlik
U1	8	2.435	± 0,004	79,4	3	7,95
U2	16	1.704	± 0,004	85,6	3	8,00
U3	24	745	± 0,001	93,7	2,9	8,08
U4	32	967	± 0,001	91,8	2,9	8,13
U5	40	668	± 0,002	94,3	2,8	8,20



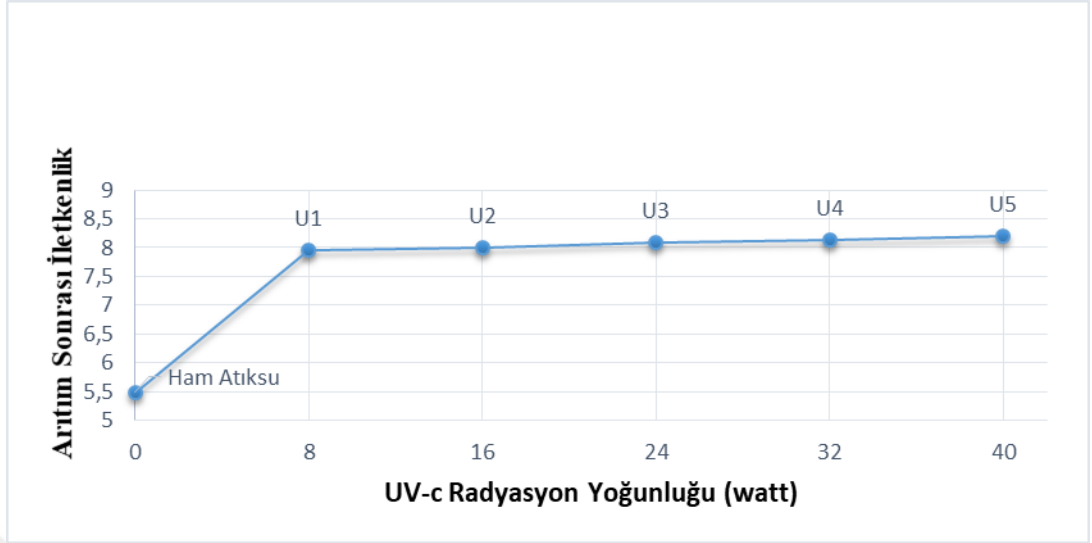
Şekil 4.27 Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğuna Karşılık KOİ Giderim Grafiği



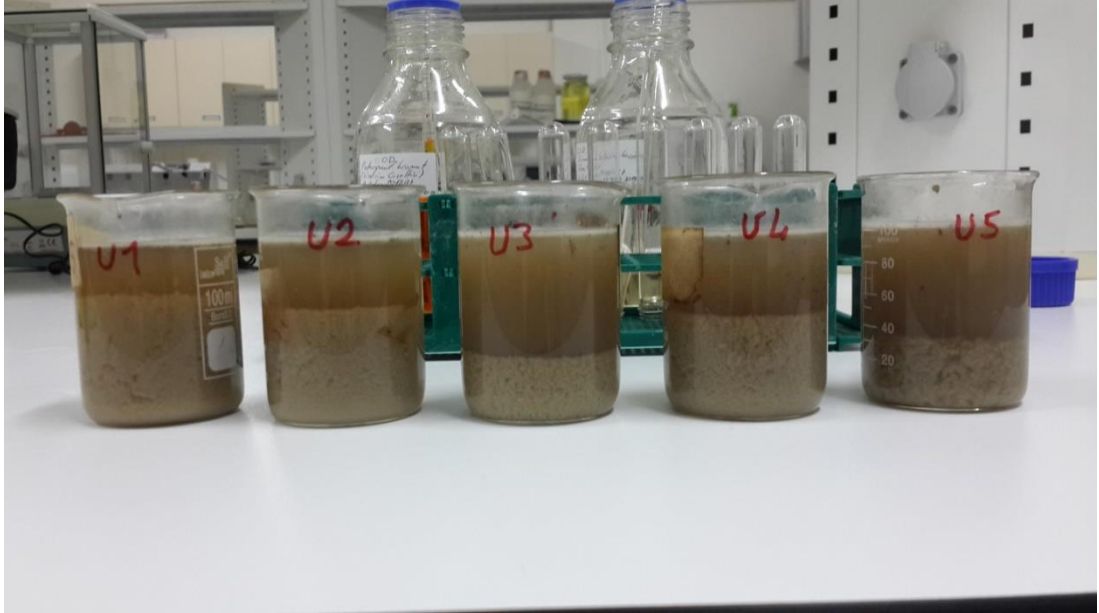
Şekil 4.28 Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğuna Karşılık KOİ Giderim Verimi Grafiği



Şekil 4.29 Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğuna Karşılık pH Değişim Grafiği



Şekil 4.30 Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğuna Karşılık İletkenlik Değişim Grafiği



Resim 4.8 Foto-Fenton Prosesine Göre Işık Yoğunluğu Deneyleri

5. BÖLÜM: SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1. Sonuçlar

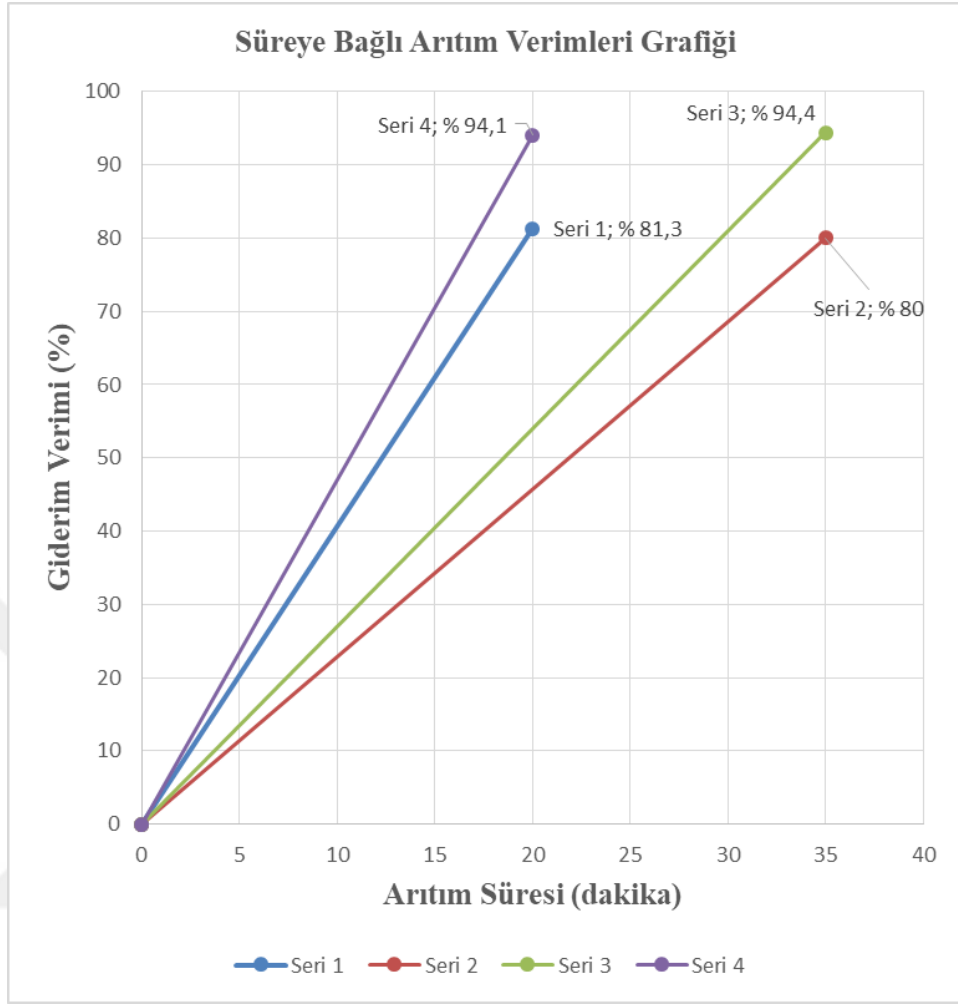
Bu çalışmada; yağlı tohumlardan yemeklik ham yağ, rafine yağ ve bitkisel ham yağdan (ve bitkisel atık yağdan) biodizel imalatı yapan bir firmanın atıksularının, tesiste çalışan personelden kaynaklı evsel nitelikli atıksularıyla birleşmesi sonucu oluşan atıksuların, arıtma tesisi girişinden alınan örnekler üzerinde çalışma yapılarak klasik Fenton proseslerinin ve Foto-fenton proseslerinin arıtım üzerine etkileri ve proseslerin mukayesesi yapılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda tablo 5.1 verilen veriler bulunmuştur.

Tablo 5.1 Sonuç Tablosu

Parametreler	Ham Atıksu	Fenton Prosesi Arıtımı	Foto-Fenton Prosesi Arıtımı
pH	7,1	3,3	2,8
FeSO ₄ Sarfıyatı (ppm)	-	150	125
H ₂ O ₂ Sarfıyatı (ppm)	-	2250	2000
Fe ⁺² /H ₂ O ₂ Oranı	-	1/15	1/16
KOİ (mg/L)	11.794	660	695
KOİ Giderim Verimi	-	% 94,4	% 94,1
TOK (mg/L)	239	47,8	44,8
TOK Giderim Verimi	-	% 80	% 81,3
İletkenlik (msimens/cm)	5,49	7,61	8,20
İletkenlik Değişim	-	+ 2,12	+ 2,71
Arıtım Süresi (dakika)	-	35	20
Sıcaklık (C ⁰)	30	25	25

Arıtım sonrası klasik Fenton prosesine göre ve Foto-fenton prosesine göre belirlenen optimum koşullarda arıtma sonrası KOİ ve TOK giderim grafiği şekil 5.1' de verilmiştir. Grafikte görülen seriler;

- **Seri 1:** Foto-Fenton Prosesine Göre TOK Giderim Verimi
- **Seri 2:** Fenton Prosesine Göre TOK Giderim Verimi
- **Seri 3:** Fenton Prosesine Göre KOİ Giderim Verimi
- **Seri 4:** Foto-Fenton Prosesine Göre KOİ Giderim Verimi



Şekil 5.1 Klasik Fenton ve Foto-fenton Oksidasyon Proseslerine Göre KOİ ve TOK Giderim Verimlerinin Karşılaştırılması

Yapılan çalışmalar sonucunda pH değeri 7,1 olan ham atıksu, klasik Fenton ve Foto-fenton prosesleri için en iyi arıtım verimini pH 3 değerinde vermektedir. Arıtım sonrası (karışım süresine bağlı olarak) iki proseste de pH seviyeleri düşmektedir.

Klasik Fenton prosesi için en iyi giderim; 25 °C, 150 ppm FeSO₄, 2250 ppm H₂O₂, pH 3 değerinde, 5 dakika 400 rpm hızlı, 30 dakika 90 rpm yavaş karıştırma ile % 94,4 KOİ giderimi, %80 TOK giderimi sağlanmıştır. Foto-fenton prosesi için en iyi giderim; 40 watt UV-c ışık altında, 125 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, pH 3 değerinde, 5 dakika 400 rpm hızlı, 15 dakika 90 rpm yavaş karıştırma ile %94,1 KOİ giderimi, %81,3 TOK giderimi sağlanmıştır.

Klasik Fenton prosesinde, optimum koşullarda KOİ giderim verimi klasik Fenton prosesinde Foto-fenton prosesine göre daha yüksek değerde iken TOK gideriminde; Foto-fenton prosesinde daha yüksek bir giderim bulunmuştur.

Foto-fenton Prosesinde 125 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, kullanımında KOİ giderim Verimi %94,1, 225 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, kullanımında KOİ giderim verimi %94,6 olarak bulunmuştur.

Klasik Fenton prosesinde en iyi KOİ ve TOK giderimi için FeSO₄/H₂O₂ oranı 1/15 iken Foto-fenton prosesinde aynı oranda giderim 1/16 oranında yakalanmıştır. Fakat bu verimi yakalamak için kimyasal sarfiyatı klasik Fenton prosesinde 150 ppm FeSO₄/2250 H₂O₂ ppm iken bu oran Foto-fenton prosesinde 125 ppm FeSO₄/2000 H₂O₂ ppm sarfiyatında görölmüştür. Yani aynı giderim oranında Foto-fenton prosesinde daha az kimyasal madde kullanılmaktadır.

En iyi giderim klasik Fenton prosesinde 35 dakika iken aynı oranda giderim Foto-fenton prosesinde 20 dakikada sağlanmaktadır.

Her iki proste de iletkenlik arıtım süresine bağlı olarak artmaktadır.

125 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, 3 pH, 25 °C, 20 dakika reaksiyon süresi sabit değerlerde 8 watt, 16 watt, 24 watt, 32 watt ve 40 watt gücünde UV-c lamba altında yapılan deney sonucu en iyi giderim 40 watt lamba ile %94,3' lük KOİ giderim verimi ile yakalanmıştır. Buna karşın 24 watt' lık ışık yoğunluğu altında KOİ giderim verimi %93, 7 ile 40 wattlık ışık yoğunluğundaki en iyi giderim değerine yakındır.

5.2. Değerlendirme

Gerek klasik Fenton gerekse Foto-fenton ileri arıtım prosesleri bitkisel yağ üretimi atıksuları, biodizel üretimi atıksuları ve evsel nitelikli atıksu arıtımında etkili ileri oksidasyon prosesleridir.

Her iki prostedede (özellikle pH 3 değerindeki) asidik pH ortamlarında yüksek verimde arıtım yapılabilir. Katı fazın dip kısmında çökmesi için (özellikle pH 8 seviyelerinde) bazik ortama ihtiyaç vardır.

Foto-fenton prosesi arıtımı klasik Fenton prosesi arıtımına göre daha kısa sürede gerçekleşmektedir.

Foto-fenton oksidasyon prosesinde 125 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, kullanımında KOİ giderim verimi %94,1, 225 ppm FeSO₄, 2000 ppm H₂O₂, kullanımında KOİ giderim verimi %94,6 olarak birbirine yakın değerler bulunmuş olup kimyasal sarfiyatı açısından 125ppm'e 2000 ppm kullanılması daha ekonomik olacaktır.

Aynı oranda yüksek arıtım verimi için, Foto-fenton prosesinde klasik Fenton prosesine göre daha az FeSO₄ ve H₂O₂ kullanılabilir. Bu vesileyle Foto-fenton prosesi kimyasal sarfiyatı açısından daha ekonomik bir ileri oksidasyon prosesidir. Bununla birlikte fazla miktarda Fe⁺² kullanımına bağlı radikal tutma etkileri ve ilave arıtma basamakları ortadan kaldırılmaktadır.

Klasik Fenton prosesi arıtımında KOİ giderimi Foto-fenton prosesi arıtımına göre (değerler yakın olmakla birlikte) daha yüksek verim elde edilmektedir. Buna karşılık Foto-fenton prosesi arıtımında TOK giderim veriminde (birbirine yakın olmakla birlikte) klasik Fenton arıtımına göre daha yüksek verim elde edilmektedir.

Örnelemeye konu atıksular için 97,335 cm² iç hacimde, 30 cm sabit temas yüzeyine sahip bir model kabin içerisinde 40 wattlık 254 nm ultraviyole ışık yoğunluğu altında en iyi giderim (%94,1 KOİ verimi) yakalanmakla birlikte, aynı değere yakın giderim verimi 24 watt'lık 254 nm ultraviyole ışık radyasyonunda (% 93,7 KOİ verimi) ile sağlanabilmektedir. Bu sebeple elektrik sarfiyatı açısından 24 watt'lık ultraviyole lambaların kullanılması daha ekonomik olacaktır.

Çalışmada kullanılan ultraviyole kabin bir model olup atıksuların yüzeyine paralel olacak şekilde kullanımında yüksek arıtım verimleri yakalanmaktadır. Ultraviyole lambaların suya temas ettirilmesi ile daha yüksek bir verim elde edilebilir fakat bu tip bir modelin gerçeğe uyarlanması ile uygulama maliyetleri yanı sıra (atıksuya temas gereği) bakım onarım maliyetleri artabilir. Bunun önüne geçmek adına daha fazla atıksu yüzeyine paralel lamba yerleştirilebilir, kavisli lamba kullanılabilir, temas mesafesi azaltılabilir veya atıksuyun akış hızı azaltılarak ultraviyole radyasyonu ile temas süresi arttırılabilir.

254 nm ultraviyole lambalar canlılar üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Çalışmalarda kullanılan UV-c tipi ultraviyole lambaların baş dönmesi, geçici görme kaybı gibi olumsuz etkileri gözlenmiştir. Bu sebeple ileri oksidasyon proseslerinden Foto-fenton arıtım proseslerinde kullanılacak (özellikle UV-c veya daha altında) ultraviyole lambalarda olumsuz etkileri önleyici, koruma önlemleri alınmalıdır.

Foto-fenton prosesi arıtımlarında maliyet ve zararlılık derecesi göz önünde bulundurularak; UV-c lamba kullanımı yerine UV-B veya doğrudan solar enerji (güneş enerjisi içerisinde bulunan UV-B ve UV-A) kullanılarak (daha düşük verimlerde) arıtım verimleri sonuçları alınabilir.

Bu çalışmaya yakın konuda yapılan literatür çalışmalarının giderim verimleri açısından mevcut çalışmayla mukayesesi tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.2 Çalışma Konusuna Benzer Literatür Tablosu

Atıksu kaynağı / endüstri	Çalışmada Uygulanan İleri Oksidasyon Prosesi Yöntemi	Çalışma Sonucu	Kaynak
Evsel nitelikli yüksek TOK ve KOİ içerikli Atıksular	Foto-fenton prosesi	TOK değerinin azaldığı ve mikroorganizma miktarının tamamen yok olduğunu bildirmişlerdir	8
Biyodizel üretim endüstrisi yüksek TOK içerikli atıksu	Elektrokoagülasyon ve ileri oksidasyon prosesleri mukayesesi	Foto-Fenton prosesi ile en iyi sonuç yakalanmış olup KOİ giriminde %98,7, TOK gideriminde %97,1 verim elde edildiği sonucunu bildirmişlerdir	25
Zeytinyağı endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuları	Klasik Fenton prosesi	Foto-fenton oksidasyonun zeytinyağı endüstrisi atıksularının oksidasyonu için en iyi proses olduğu sonucunu bildirmişlerdir	113
Zeytinyağ endüstrisi atıksuları	UV/Fenton/O ³ prosesi	UV/Fenton/O ³ kombine ileri arıtım prosesinde %77 oranında KOİ bozunma olduğunu bildirmişlerdir	114
Zeytinyağı endüstrisinden kaynaklı yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksular	İleri oksidasyon prosesleri mukayesesi	İletken-elmas elektrooksidasyonu, ozonlama ve Klasik Fenton oksidasyonu mukayese edilmiş olup, en iyi arıtım Klasik Fenton oksidasyon prosesi TOK (%70) olarak bildirmişlerdir	115
Palm yağı üretim endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksu	Klasik Fenton prosesi	% 97,36 renk ve % 91,11 KOİ giderimi bildirmişlerdir	116
Palm yağı (hurma yağı) endüstrisi yüksek TOK ve KOİ	Klasik Fenton oksidasyonu prosesi	KOİ giderim verimi %85 olarak bildirmişlerdir	117

İçerikli atıksuyu			
Keten yağı üretim endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuları	Klasik Fenton prosesi	KOİ, toplam askıda katı madde, yağ ve gres giderim yüzdeleri sırasıyla %98,60, % 86,60 ve% 94,22 olarak bildirmişlerdir	118
Bitkisel yağ üretim endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuları	Foto-fenton oksidasyon prosesi	KOİ verimi %80,59 (2684 mg/l' den 521 mg/l' ye indirgenmesiyle) olduğunu bildirmişlerdir	119
Bitkisel yağ üretim endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuları	Foto-fenton Oksidasyon prosesleri	UV radyasyonunda KOİ giderim verimi %80,59 olarak bildirmişlerdir	120
Zeytinyağı endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksu	Foto-fenton prosesi	KOİ, TOK, toplam fenolik bileşikler ve bulanıklık giderme yüzdelerinin % 90'dan yüksek olduğunu bildirmişlerdir	121
Bitkisel yağ üretim endüstrileri yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuları	Elektro-fenton tekniği kullanılarak bitkisel yağ atıksu arıtımı	%62,94 oranında KOİ giderim verimi olduğunu bildirmişlerdir	122
Biyodizel üretim prosesi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuyu	Elektrokimyasal oksidasyon prosesleri ile flokülasyon tekniği	%78,5 oranında TOK giderim verimi sağladığını bildirmişlerdir	123
Yüksek antibiyotik içerikli atıksular	Elektro-Fenton, Foto-Fenton, Fotoelektro-Fenton ve güneş Fotoelektro-fenton prosesleri	Elektro-fenton ve foto-fenton oksidasyon proseslerinde antibiyotik kirleticilerinin ortadan kaldırılması için en verimli ileri oksidasyon prosesleri olduğu sonucunu bildirmişlerdir	124
Doğal gaz üretim prosesi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuyu	Fenton, foto-Fenton, Ultrasonik-fenton	En iyi arıtım verimi; Foto-fenton prosesine ile yakalanmış olup, KOİ, TOK, BOİ ₅ ve renk giderim verimi göre sırayla %82, %73, %68 ve %95 oranında giderim verimleri olduğunu bildirmişlerdir	125
Tekstil endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuyu	Fotoelektro-fenton prosesi	TOK ve KOİ giderim verimi sırasıyla %83 ve %70 elde edildiğini bildirmişlerdir	126
Yüksek TOK ve KOİ içerikli tekstil atıksuyu ve farmasötik (tıbbi) atıksuyu	Güneş foto-fenton ve ozonlama prosesi entegrasyonunun, hibrit fenton ve ozonlama entegre ileri arıtımına göre	En iyi arıtım; güneş ışığı katalizörlüğünde gerçekleştirilen foto-fenton prosesi ile /tekstil atıksuyu için) %67 oranında KOİ, %62 TOK giderim verimi yakalandığını bildirmişlerdir	127
Tarım endüstrisi yüksek KOİ ve bulanıklık ihtiva eden atıksular	Fenton ve Foto-fenton prosesleri	Klasik fenton prosesine göre; %68 bulanıklık, %70 KOİ giderim verimi tespit edilmiştir. Bu giderimin ardından UV radyasyonun da dahil edilmesiyle reaksiyon ortamında daha fazla hidroksil radikallerinin aktif edilmesine bağlı olarak daha yüksek verim ve kısa sürede arıtım sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir	128
Tekstil endüstrisi	Klasik Fenton	Sonuç (%99 renk giderimi) itibarıyla	129

atıksularında renk parametresi	prosesinin Ultrasonik-fenton prosesi ile mukayesesi	kimyasal sarfiyatı ve reaksiyon süresi göz önünde bulundurularak tekstil atıksuyundan renk giderimi için en ekonomik prosesin (klasik Fenton prosesine göre) ultrasonik-fenton prosesi olduğunu bildirmişlerdir	
Sulu çözeltilerde pestisit parçalaması	Klasik Fenton, UV Foto-fenton, Güneş Foto-fenton, UV/TiO ₂ /H ₂ O ₂ ve FeGAC/H ₂ O ₂ mukayesesi	mukayese sonucunda en iyi giderim prosesinin FeGAC/H ₂ O ₂ oksidasyon prosesi olduğunu bildirmişlerdir	130
Tekstil endüstrisi atıksularında gri renk giderimi	Foto-fenton, O ³ / H ₂ O ₂ / UV ve fotokatalitik proseslerin mukayesesi	Sonuç olarak, gri su iyileştirmesi için ozon / H ₂ O ₂ / UV işlemi önerilmektedir, çünkü KOİ ve bulanıklığı sırasıyla % 92 ve % 93 oranında olduğunu bildirmişlerdir	131
Biyodizel üretim prosesi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuyu	Fenton, Foto-fenton, Güneş radyasyonunda-fotoliz	Güneş-fotolizi %92 TOK giderimi ile en iyi giderim verimi olduğunu bulmuşlardır. Bununla birlikte biyodizel atıksularındaki %6-8 TOK içeriğinin inatçı ve giderimi zor kirleticiler olduğu sonucunu bildirmişlerdir	132
Soya Yağı üretim endüstrisi yüksek fenolik bileşikler içerikli atıksuyu	Elektro-fenton	fenolik bileşikler gibi tehlikeli maddelerin optimum koşullarda %92,66 giderim verimi sağladığını bildirmişlerdir	133
Biyodizel üretim prosesi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuları	Hibrit hareket yataklı biyoreaktör prosese entegre olarak Foto-fenton prosesi uygulaması	Hibrit hareket yataklı biyoreaktör prosesi ile atıksudan % 69 KOİ, %68 TOC giderim verimi sağlanmışlardır. Yapılan bu hibrit çalışmaya entegre olarak foto-fenton prosesi de eklendiğinde % 95 KOİ giderim verimi olduğunu bildirmişlerdir	134
Palm yağı (hurma yağı) üretim endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuları	Klasik Fenton oksidasyonu prosesi	%91 oranında TOK ve %99,9 fosfor giderim verimi olduğunu bildirmişlerdir	135
Atık yemeklik yağdan biyodizel üretim endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksuları	Elektrokoagülasyon prosesi	KOİ ve TOK giderim verimlerinin sırasıyla %62,7 ve %63,4 olduğu bulunmuştur. yağ-gres, toplam fosfor, ortofosfor ve ve toplam askıda katı madde parametreleri uzaklaştırma verimleri sırasıyla %89,9, %98,9, %99,5 ve %86,7 olarak bildirmişlerdir	136
Yağlı tohumlardan Ham yağ, rafine ve biyodizel endüstrisi yüksek TOK ve KOİ içerikli atıksular	Klasik Fenton prosesi ve Foto-fenton prosesi	Klasik Fenton Prosesi ile %94,1 KOİ giderim verimi, %80 TOK giderim verimi Foto-Fenton Oksidasyon Prosesi içinse; ile %93,7 KOİ giderim verimi, %81,3 TOK giderim verimi olduğunu bildirmişlerdir.	Bu çalışma

Tablo geneline bakıldığında klasik Fenton arıtım proseslerinin KOİ ve TOK giderim verimleri açısından (farklı derişimlerde kimyasal sarfiyatı, lamba tipleri, reaksiyon süreleri, sıcaklık vb. farklılıklarına rağmen) İleri Oksidasyon Prosesleri içerisinde iyi bir arıtım prosesi olduğunu söyleyebiliriz. Gerek bu çalışmada gerekse literatür çalışmalarına bakıldığında Foto-fenton oksidasyonu proseslerinin arıtım verimi açısından, kimyasal sarfiyatı açısından ve arıtım süresi açısından klasik Fenton proseslerine göre çok daha iyi ileri oksidasyon prosesi olduğu sonucuda varmaktayız.

Literatür çalışmaları ve bu çalışma değerlendirildiğinde yağ ve biyodizel üretim endüstrileri atıksuları muhteviyatında %8-6 inaçtı organik kirleticileri barındırdığını görmekteyiz. Gerek klasik Fenton gerekse Foto-fenton oksidasyon prosesleri bu kirleticileri gidermekte yetersiz kalabilmektedir. Tüm çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmalarda da bahse konu inaçtı kirleticiler giderilememiştir. Sonuç itibariyle özellikle 2018-2019 yıllarında yapılan çalışmalarda KOİ ve TOK giderim oranları sırasıyla %90-95, %75-85 literatür ortalamasında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da literatür ortalama değeri arasında bir değeri bulunmuştur. Bununla birlikte her iki proseste de KOİ giderim verimi TOK giderim veriminden daha büyük olduğu aşikârdır.

KAYNAKÇA

- [1] Pouran S. R., Aziz A. R. A., Daud W. M. A. W., 'Review on the main advances in pFoto-Fenton oxidation system for recalcitrant wastewaters', *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 53-69. 2015
- [2] Bethi B., Sonawane S. H., Bhanvase B. A., Gumfekar S. P., 'Nanomaterials-based advanced oxidation processes for wastewater' *treatment: A review*, *Chemical Engineering and Processing:Process Intensification*, 109, 178-189. 2016
- [3] Spellman F. R., 'Water and Wastewater Treatment Plant Operations', *CRS Press*, Taylor & Francis Group, 851. 2014
- [4] Badawy M. I., Wahaab R. A., El-Kalliny A. S. "Fenton-biological treatment processes for the removal of some pHarmaceuticals from industrial wastewater". *Journal of Hazardous Materials*, 167, 567–574, 2009.
- [5] Neyens E., Baeyens J., Weemaes M., De Heyder B., 'Pilot scale peroxidation (H₂O₂) of sewage sludge', *Journal of Hazardous Materials*, B9, 8, 91-106. 2003
- [6] Ahn D. H, Chang W. S, Yoon T. I. "Dyestuff wastewater treatment using chemical oxidation, pPhysical adsorption and fixed bed biofilm process". *Process Biochemistry*, 34, 429–439. 1999
- [7] Alaton A. ve Gürses F., 'Penisilin prokain Gantibiyotik formülasyon atıksuyunun Fenton benzeri ve Foto-fenton benzeri ileri oksidasyon prosesleri ile arıtılabilirliğinin incelenmesi'. *Su Kirlenmesi ve Kontrolü Dergisi*. (1), 11-16. 2004
- [8] N. Şen, N. Bektaş, M. Tekbaş, H. C. Yatmaz, 'Evsel Atıksulardan Toplam Organik Karbon (TOK) Gideriminin Foto-fenton Prosesi ile İncelenmesi' *Ekoloji* 22, 88, s 58-64, 2013
- [9] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği' (R.G. 31.12.2004/25687) (Değişik:RG-13/2/2008-26786)
- [10] Metcalf ve Eddy, Wastewater Engineering, 'Disposal And Reuse', *Mcgraw-Hill Internationaleditions, Fourth Edition*. 2003
- [11] Samsunlu A., 'Atıksuların Arıtılması', Y.0029, *Birsen Yayınevi Ltd. Şti.*, İstanbul, s. 3-6,2006
- [12] Koçhisar N., 'Endüstriyel atıksulardan fenol giderilmesi', *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, Samsun.1989

- [13] Martinez N. S. S, Fernandez J. F., Segura X. F. ve Ferrer A. S., 'Pre-oxidation of an extremely polluted industrial wastewater by the Fenton's reagent', *Journal of Hazardous Materials* B101. s 315-322. 2003
- [14] Şengül E, Filibeli A. ve Karagündüz A., 'Pamukyağı endüstrisinin karakteristikleri ve arıtımı', *İTÜ 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu*. ss. 121-137, İstanbul. 1992
- [15] Chin K. K, Ng W. J., Ma A. N., 'Palm oil refinery effluent treatment by sequencing batch reactors' *Biological Wastes*, 20, 101-109. 1987
- [16] Öztürk L., San H. A., Eroğlu V., 'Comparative evaluation of treatment alternatives for wastewaters from an edible oil refining industry' *Water Science and Technology*, 22(9), 225-234. 1990
- [17] Şengül E. 'A case study on sunflower oil industries characterisation, classification and treatment' *Water Science and Technology*, 23(9), 241-248. 1990
- [18] Pollard S. J. T, Sollars C. J. ve Perry R., 'The reuse of spent bleaching earth: A feasibility study in waste minimisation for the edible oil industry'. *Bioresource Technology*, 45, 53-58. 1993
- [19] Watson K. S. ve Meierhoefer C. H., 'Use or disposal of by-products and spent material from the vegetable oil processing industry in the USA'. *Journal of American Oil Chemists Society*, 53, 437-442. 1967
- [20] Eroğlu V., 'Yemeklik yağ sanayii atıksularının arıtımında çözünmüş hava flotasyonu ve aktif çamur sisteminin verimliliğinin araştırılması' 7. *Türk-Alman Çevre Mühendisliği Sempozyumu*. İstanbul, ss. 177-191. 1988
- [21] Buck R. R. ve Sekoulow I., 'Reduction in environmental pollution caused by wastewaters from edible oil refineries, concept and investigations', *International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries*, İstanbul, s 271-278. 1989
- [22] Tsugita R. A., Ellis R. H., 'Pre-treatment of Industrial Wastes Manual of Practice' *Water Pollution Control Federation, Lancaster Press*, No: FD-3, 63-72. 1981
- [23] Uslu O. ve Türkman A. 'Su Kirliliği ve Kontrolü' TC. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Ankara. 1987
- [24] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx>[Accessed: 1-June-2017]

- [25] N. P. Tanattı, “Biyodizel Atıksularının Elektrokoagülasyon ve İleri Oksidasyon Yöntemleri İle Arıtılabilirliği”, (Doktora Tezi), *Sakarya Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*. 2015
- [26] Parsons S., ‘Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment’, *IWA Publications*, 2004
- [27] Krapfenbauer K., Wolfger H., Getoff N., Hamblett I., Navaratnam S., ‘Pulse radiolysis and chemical analysis of azo dyes in aqueous solution’. *I. P pHenylazoaniline, Radiat. P Hys. Chem.* 58, s 21–27, 2000.
- [28] Cho M., Chung H., Choi W., Yoon J., Different ‘Inactivation behaviors of MS-2 pH age and Escherichia coli in TiO₂ photocatalytic disinfection’, *Appl Environ Microbiol.*, 71(1):270–5, 2005.
- [29] Saratale R. G., Saratale G. D., Chang J. S., and Govindwar S. P. , ‘Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: a review’, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 42: s 138–157, 2011.
- [30] Ikai H, Nakamura K, Shirato M, Kanno T, Iwasawa A, Sasaki K, ‘Photolysis of hydrogen peroxide an effective disinfection system via hydroxyl radical formation’, *Antimicrob Agents Chemother.*; 54(12):5086– 91, 2010.
- [31] Augulıaro V., Davi E., Polmisano L., ‘Influence of Hydrogen Peroxide on the Kinetics of Phenol Photodegradation in Aqueous Titanium Dioxide, Dispersion’ , *Applied Catalysis*, 65, s 101-116, 1990.
- [32] N. L. Stock, J. Peller, K. Vinodgopal, P. Kamat, *Environ. Sci. Technol.* 34 1747, 2000.
- [33] T. C. An, X. H. Zhu, Y. Xiong, *ChemospHere* 46, 897, 2002.
- [34] Tchobanoglous G., Burton F., Stensel H. ‘Wastewater engineering’, *Metcalf & Eddy Inc.*, New York, 2003.
- [35] System SE. The UV/oxidation handbook, In 1994.
- [36] Huang C., Dong C., Tang Z., ‘Advanced chemical oxidation: its present role and potential future in hazardous waste treatment’, *Waste Manag.*; 13(5):361–77, 1993.
- [37] Gottschalk C., Libra J. A., Saupe A., ‘Ozonation Of Water And Waste Water:A Practical Guide To Understanding Ozone And Its Applications’, *John Wiley & Sons*, 2009.

- [38] Rajenshwar K., 'Photochemical Strategies for Abating Environmental Pollution', *Chemistry&Industry*, s 454-458, 1996.
- [39] Prat C., Vicente M., Esplugas S., 'Treatment of Bleaching Waters in the Paper Industry by Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation', *Water Res.*, 22, s 663-668, 1988.
- [40] Topudurti K. V., Lewis N. M., Hirs S. H., 'The Applicability of UV/Oxidation Technologies Treat Contaminated Groundwater', *Environmental Progress*, 12, 1, 54-60, 1993.
- [41] Türeli G., 'Treatment of an Azo Dye and Azo Dye Production Wastewaters with Fenton-like and Photo-fenton-like Advanced Oxidation Processes', *M. Sc. thesis, İstanbul Technical University*, s. 151. 2008
- [42] Nikravan A., 'Amoxicillin and Ampicillin Removal from Wastewater by Fenton and Photo-fenton Processes', *M. Sc. thesis, Hacettepe University*, 2015
- [43] Garrido-Ramirez E. G., Theng B. K. G., Mora M. L., 'Clays and oxide minerals as catalysts and nanocatalysts in Fenton-like reactions A review', *Applied Clay Science* 47, s: 182-192. 2010
- [44] Hullar T., Anastasio C., 'Yields of hydrogen peroxide from the reaction of hydroxyl radical with organic compounds in solution and ice', *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, 11, s: 6457-6492. 2011
- [45] Bianco B., De Michelis I., Veglio F., 'Fenton treatment of complex industrial wastewater: Optimization of process conditions by surface response method', *Journal of Hazardous Materials* 186, s: 1733-1738. 2011
- [46] Oturan M. A., Aaron J. J., 'Advanced Oxidation Processes in Water/Wastewater Treatment: Principles and Applications-A Review', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44, s: 2577-2641. 2014
- [47] Gagol M., Przyjazny A., Boczkaj G., 'Wastewater Treatment by Means of Advanced Oxidation Processes Based on Cavitation A Review', *Chemical Engineering Journal*, 338, s: 599-627. 2018
- [48] Garcia-Segura S., Bellotindos L. M., Huang Y., Brillas E., Lu M., 'Fluidize Fenton process as alternative wastewater treatment technology a review', *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 67, s: 211-225. 2016

- [49] Değermenci G. D., Bayhan Y. K., Değermenci N., ‘Investigation of the Treatment of Industrial Wastewater Containing High Organic Matter by Fenton Process’, *Iğdır University*, 4, 2, s: 17-22. 2014
- [50] Rahmani A., ‘Heterogeneous Fenton Oxidation Process Using Natural Martite And Hydrogen Peroxide For Treatment Of Color in Water’, *M. Sc. thesis, Middle East Technical University*, 201, 2017
- [51] Pouran S. R., Aziz A. R. A., Daud W. M. A. W., ‘Review on the main advances in Photofenton oxidation system for recalcitrant’ wastewaters *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, s: 53-69. 2015
- [52] Kwan W. P., Voelker B. M., ‘Rates of Hydroxyl Radical Generation and Organic Compound Oxidation in Mineral-Catalyzed Fenton-like Systems’, *Environmental Science & Technology*, 37, s: 1150-1158. 2003
- [53] Pouran S. R., Aziz A. R. A., Daud W. M. A. W., Embong Z., ‘Niobium substituted magnetite as a strong heterogeneous Fentoncatalyst for wastewater’ treatment, *Applied Surface Science*, 315, 175-187. 2015
- [54] Rahmani A., ‘Heterogeneous Fenton Oxidation Process Using Natural Martite And Hydrogen Peroxide For Treatment Of Color in Water’, *M. Sc. thesis, Middle East Technical University*, 201 p. 2017
- [55] Şam E. D., Ürgen M., ‘TiO₂ Fotokatalistleri’, *ITU Dergisi*, 6, s: 81-92. 2007
- [56] Garcia C. A., Hodaifa G., ‘Real olive oil mill wastewater treatment by pHoto-Fenton system using artificial ultraviolet light lamps’, *Journal of Cleaner Production*, 162, s: 743-753. 2017
- [57] Arimi M. M., ‘Modified natural zeolite as heterogeneous Fenton catalyst in treatment of recalcitrants in industrial effluent’, *Progress in Natural Science: Materials International*, 27, s: 275-282. 2017
- [58] Liang C., Liu Y., Li K., Wen J., Xing S., Ma Z., Wu Y., ‘Heterogeneous Photo-Fenton degradation of organic pollutants with amorphous Fe-Zn-oxide/hydrochar under visible light irradiation’, *Separation and Purification Technology*, 188, s: 105-111. 2017
- [59] Khataee A., Gholami P., Sheydaei M., ‘Heterogeneous Fenton process by natural pyrite for removal of a textile dye from water: Effect of parameters and

- intermediate identification', *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 58, 366-373. 2016
- [60] Sreeja P. H., Sosamony K. J., 'Comparative Study of Homogeneous and Heterogeneous Photo-Fenton Process for Textile Wastewater Treatment', *Procedia Technology*, 24, s: 217-223. 2016
- [61] Kakavandi B., Takdastan A., Jaafarzadeh N., Azizi M., Mirzaei A., Azari A., 'Application of Fe₃O₄C 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
- [62] Kim K., Qiu P., Cui M., Khim J., 'Development and application of Fe₃O₄-Pd nanospheres as catalyst for electrochemical-heterogeneous Fenton process', *Chemical Engineering Journal*, 9, s: 1165-1173. 2016
- [63] Wang Y., Gao Y., Chen L., Zhang H., 'Goethite as an efficient heterogeneous Fenton catalyst for the degradation of methyl orange', *Catalysis Today*, 252, s: 107-112. 2015
- [64] Cihanoğlu A., Gündüz G., Dükkancı M., 'Degradation of acetic acid by heterogeneous Fenton-like oxidation over iron-containing ZSM-5 zeolites', *Applied Catalysis B: Environmental*, 165, s: 687-699. 2015
- [65] Zhou C., Wang B., Ma C., Song Z., Zeng Z., Xiang J., Hu S., Su S., Sun L., 'Gaseous elemental mercury removal through heterogeneous Fenton-like processes using novel magnetically separable Cu_{0.3} Fe_{2.7-x} Ti_xO₄' catalysts, *Fuel*, 161, 254-261. 2015
- [66] Elshafei G. M. S., Yehia F. Z., Dimitry O. I. H., Badawi A. M., Eshaq G., 'Extending the working pH of nitrobenzene degradation using ultrasonic/heterogeneous Fenton to the alkaline range via amino acid modification', *Chemosphere*, 139, s: 632-637. 2015
- [67] Wu J., Pu W., Yang C., Zhang M., Zhang J., 'Removal of benzotriazole by heterogeneous photoelectro-Fenton like process using ZnFe₂O₄ nanoparticles as catalyst', *Journal of Environmental Sciences*, 25, 4, s: 801-807. 2013
- [68] Yao Y., Cai Y., Wu G., Wei F., Chen X. L. H., Wang, S., 'Sulfate radicals induced from peroxymonosulfate by cobalt manganese oxides (Co_xMn_{3-x}O₄) for

- Fenton-Like reaction in water', *Journal of Hazardous Materials*, 296, s: 128-137. 2015
- [69] Khataee A., Salahpour F., Fathinia M., Seyyedi B., Vahid B., 'Iron rich laterite soil with mesoporous structure for heterogeneous Fenton-like degradation of an azo dye under visible light', *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 26, s: 129-135. 2015
- [70] Iglesias O., Mejjide J., Bocos E., Sanromán M. A., Pazos M., 'New approaches on heterogeneous Electro-Fenton treatment of winery wastewater', *Electrochimica Acta*, 169, s: 134-141. 2015
- [71] Labiadh L., Oturan M. A., Panizza M., Hamadi N. B., Ammar S., 'Complete removal of AHPS synthetic dye from water using new electro-fenton oxidation catalyzed by natural pyrite as heterogeneous catalyst', *Journal of Hazardous Materials*, 297, s: 34-41. 2015
- [72] Gao Y., Wang Y., Zhang H., 'Removal of Rhodamine B with Fe-supported bentonite as heterogeneous Photo-Fenton catalyst under visible irradiation', *Applied Catalysis B: Environmental*, 178, s: 29-36. 2015
- [73] Luca C., Ivorra F., Massa P., Fenoglio R., 'Iron–alumina synergy in the heterogeneous Fenton-type peroxidation of phenol solutions', *Chemical Engineering Journal*, 268, s: 280-289. 2018
- [74] Cheng C. K., Kong Z. Y., Khan M. R., 'Photocatalytic-Fenton Degradation of Glycerol Solution over Visible Light-Responsive CuFe_2O_4 ', *Water Air Soil Pollut*, s. 226-327. 2015
- [75] Zubir N. A., Yacou C., Zhang X., Costa J. C. D., 'Optimisation of graphene oxide–iron oxide nanocomposite in heterogeneous Fenton-like oxidation of Acid Orange 7', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, s: 1881-1888. 2014
- [76] Değirmenbaşı N., Boz N., 'Biyodizelin Yan Ürünü Gliserinin Değerlendirilmesi için Malzeme Tasarımı', *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C 3(2):477-482*, 2015
- [77] Gemici B., 'Kalsiyum Oksit-Manyetit Katalizörlüğünde Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi' *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sayfa 39-42*, 2019

- [78] Özdemir Z. Ö., Mutlubaş H., ‘Heterojen Katalizör Tasarımlı Biyodizel Üretimi’, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(4): 2157-2165, 2019
- [79] Azcan, N., Danışman, A., Pamuk Yağından Transesterifikasyon ile Biyodizel Eldesi. *Yedinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 5-8 Eylül 2006
- [80] Özgür C., ‘Alkol ve Katalizör Miktarlarının Farklı Katalizörlerle Üretilen Kanola Biyodizelinin Dönüşüm Oranı ve Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisi’, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 337-344 ss., Haziran 2016
- [81] Uzunoğlu D., Ergüt M., Özer A., ‘Heterojen Fenton-benzeri Reaksiyon ile p-nitrofenolün Degradasyonu İçin Katalizör Geliştirilmesi: Fe-Zn Nps/C Kompozit Malzemesi’, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı 24, sayfa; 44-52, 2019
- [82] Wan D., Li W., Wang G., Lu L., Wei X., ‘Degradation of p-Nitrophenol using magnetic Fe⁰/Fe₃O₄/Coke composite as a heterogeneous Fenton-like catalyst’. *Science of the Total Environment*, 574, 1326-1334. 2017
- [83] Sun S. P. & Lemley A. T., ‘p-Nitrophenol degradation by a heterogeneous Fenton-like reaction on nano-magnetite: process optimization, kinetics, and degradation pathways’. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 349(1-2), 71-79. 2011
- [84] Zhang A., Wang N., Zhou J., Jiang P., Liu G., ‘Heterogeneous Fenton-like catalytic removal of p-nitrophenol in water using acid-activated fly ash.’ *Journal of Hazardous Materials*, 201, 68-73. 2012
- [85] Khaloo S. S., Zolfaghari H., Gholamnia R., ‘Response surface methodology for optimization of 4-nitrophenol degradation by a heterogeneous Fenton-like reaction on nano-zero-valent iron’. *Desalination and Water Treatment*, 56(8), 2206-2213. 2015
- [86] Rodrigues C. S., Soares O. S. G. P., Pinho M. T., Pereira M. F. R. & Madeira, L. M., ‘p-Nitrophenol degradation by heterogeneous Fenton’s oxidation over activated carbon-based catalysts’. *Applied Catalysis B: Environmental*, 219, 109-122. 2017

- [87] Uzunoğlu D., Ergüt M., Özer A., ‘Heterojen Fenton-benzeri Reaksiyon ile p-nitrofenolün Degradasyonu İçin Katalizör Geliştirilmesi: Fe-Zn Nps/C Kompozit Malzemesi’, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı 24*, sayfa 44-52, 2019
- [88] Ünnü B. A., ‘Degradation of Crystal Violet Over Fe-ZSM-5 Zeolite Catalyst by Heterogeneous Fenton-Like Oxidation and/or Sonication’, *M.Sc. thesis, Ege University*, 91. 2014
- [89] EPA: Handbook of Advanced Photochemical Oxiation Processes, *Office of Research and Development Washington DC*, 2-4. 1998
- [90] Bolton J. R. and Cater S. R., ‘Ferrioxalate-mediated photodegradation of organic pollutants in the contaminated water’, *Water Res.*, 31 (4), s: 787- 798. 1997
- [91] De Laat J., Gallard H., Ancelin S., Legube B., ‘Comparative study of the oxidation of atrazine and acetone by H₂O₂/UV, Fe(III)/UV, Fe(III)/H₂O₂/UV and Fe(II) or Fe(III)/ H₂O₂’, *Chemosphere*, 39 (15), s: 2693-2706. 1999.
- [92] Safarzadeh-Amiri A., Bolton J. R., Cater S. R., ‘Ferrioxalate-mediated pHotodegradation of organic pollutants in contaminated water’, *Water Research*, 31, s: 787-798. 1997
- [93] Bautitz I. R., Nogueira R. F. P., ‘Degradation of tetracycline by photo-Fenton process-solar irradiation and matrix effects’, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 187, s: 33-39. 2007
- [94] Mirzaei A., Chen Z., Haghghat F., Yerushalmi L., ‘Removal of pHarmaceuticals from water by homo/heterogonous Fenton type processes a review’, *Chemosphere*, 174, s: 665-688. 2017
- [95] Deng Y., Englehardt J., ‘Treatment of landfill leachate by the Fenton process’, *Water Research*, 40, s. 3683-3684. 2006
- [96] Kalkan E., ‘The Effect of Disintegration by Classical and Advanced Fenton Processes on Minimization and Characteristics of the Wastewater Sludges’, *M. Sc. thesis, Boğaziçi University*, 76. 2010
- [97] AMT (Advanced Melting Technologies): ‘November 2005 Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry BCS’, *Incorporated Columbia*, 2005.

- [98] Murphy A. J., “Non-Ferrous foundry metallurgy: The Science of Melting and Casting Non-Ferrous Metals and Alloys”, *Literary Licensing*, 22, s: 32-45, 2013.
- [99] Aytaç E., ‘Oxidation of Aqueous Bisphenol A with the Fenton’s Reagent: The Effects of Operating Parameters on Process Performance and Toxicity Evaluations’, *M. Sc. thesis, Istanbul Technical University*, 161, 2013
- [100] Arslan-Alaton I., Erdinç E., ‘Effect of photochemical treatment on the biocompatibility of a commercial nonionic surfactant used in the textile industry’, *Water Research*, 40, s: 3409-3418. 2006
- [101] Kang J. W., Hung H. M. , Lin A., Hoffmann M. R., ‘Sonolytic destruction of methyl tert-butyl ether by ultrasonic irradiation: the role of O₃, H₂O₂, frequency and power density’, *Environ. Sci. & Technol.*, 33, s: 3199 –3205. 1999
- [102] Meeker R. E., ‘Stabilization of Hydrogen Peroxide’, *US Pat.3.208-606*. 1965
- [103] Bidga R. J., ‘Consider Fenton's chemistry for wastewater treatment’, *Chem. Eng. Prog.*, 91, 12, s: 62-66. 1995
- [104] Muruganandham M., Swaminathan M., ‘Decolourisation of Reactive Orange 4 by Fenton and pFoto-Fenton oxidation technology’, *Dyes and Pigments*, 63, s: 315-321. 2004
- [105] Behnajady M. A., Modirshahla N., Shokri M., ‘Photodestruction of Acid Orange 7 (AO7) in aqueous solutions by UV/H₂O₂’, *influence of operational parameters, Chemosphere*, 55, s: 129-134. 2004
- [106] Babuponnusami, A., Muthukumar, K., ‘A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment’, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, s: 557-572. 2014
- [107] Hwang S., Bouwer, E., Larson, S. L., ‘Decolorization of alkaline TNT hydrolysis effluents using UV/H₂O₂’, *Haz. Mat.*, 108, s: 61-67. 2003
- [108] Yılmaz S., ‘Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Fenton Oksidasyonu İle Artımı’, *Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, s: 66. 2008
- [109] Arslan-Alaton I., Balcioglu I. A., ‘Photochemical and heterogeneous photocatalytic degradation of waste vinylsulphone dyes: a case study with hydrolysed Reactive Black 5’, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 141, s: 247–254. 2001

- [110] Qiao R. P., Li N., Qi X. H., Wang Q. S., Zhuang Y. Y., 'Degradation of microcystin-RR by UV radiation in the presence of hydrogenperoxide', *Toxicon*, 45, 745–752. 2005
- [111] Xu B., Gao N, Y. Sun., 'Photochemical degradation of diethyl phthalate with UV/H₂O₂', *Journal of Hazardous Materials*, B139, s:132–139. 2007
- [112] Xu B., Gao N, Y. Cheng, H. Xia, S. J. Rui, M. Zhao, 'Oxidative degradation of dimethyl phthalate (DMP) by UV/H₂O₂ process', *Journal of Hazardous Materials*, 162, s: 954–959. 2009
- [113] Oktav E., Çatalkaya E.Ç., Şengül F., "Zeytinyağı endüstrisi atıksularının kimyasal yöntemlerle arıtımı" *DEÜ. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 5, Sayı 3, 11-21, (2003).
- [114] Monteaguda J. M., Carmona M., Duran A., "Photo-fenton assisted ozonation of pcoumaric acid in aqueous solution" *Chemosphere*, 60, 1103-1110, (2005).
- [115] Canizares P., Lobato J., Rodrigo M. A., Saez C., "Advanced oxidation process for the treatment of olive-oil mills wastewater", *Chemosphere*, 67, 832-838, (2007).
- [116] Saeed M. O., Azizli K., Isa M. H., Bashir M. J. K., 'Application of CCD in RSM to obtain optimize treatment of POME using Fenton oxidation process', *Journal of Water Process Engineering*, 8, 7-16. 2015
- [117] Saeed M. O., Azizli K. A. M., Isa M. H., Ezechi E. H., 'Treatment of POME using Fenton oxidation process: removal efficiency, optimization, and acidity condition', *Journal Desalination and Water Treatment*, Pages 23750-23759, 2015
- [118] Abou-Elela, S. I. Ali, M. E. M. Ibrahim, H. S., 'Combined treatment of retting flax wastewater using Fenton oxidation and granular activated carbon', *Arabian Journal of Chemistry*, 9, 511-517. 2016
- [119] Tahir A. H. F., Obeid N., Jabbar S. A., 'Removal Of Vegetable Oil From Wastewater By Photo-Fenton Process', *Journal of Engineering and Sustainable Development*, Volume: 20 Issue: 3 sayfa: 36-46, 2016
- [120] Aola H. F., Nagam O., Shatha A. J., 'Removal Of Vegetable Oil From Wastewater By photo-Fenton Process', *Journal of; Engineering And Sustainable Development*, Vol. 20, No:03, 2016

- [121] Garcia C. A., Hodaifa G., Real olive oil mill wastewater treatment by photo-Fenton system using artificial ultraviolet light lamps', *Journal of Cleaner Production*, 162, 743-753. 2017
- [122] Davarnejad R. Ve Mohajerani S. A., 'Edible Plant Oil Wastewater Treatment Using Electro-Fenton Technique: Experiment and Correlation', *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, Volume 16, issue 8, 2018
- [123] Torres N., Lima A. S., Ferreira L. F. R., Oliveira J. A., Cavalcanti E. B., 'Treatment Of Wastewater From Biodiesel Generation And Its Toxicity Evaluation By Raphidocelis subcapitata', *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol.35 no.2 São Paulo, 2018
- [124] Liu X., Zhou Y., Zhang J., Luo L., Yang Y., Huang H., Peng H., Tang L., Mu Y., 'Insight into electro-Fenton and photo-Fenton for the degradation of antibiotics: Mechanism study and research gaps', *Chemical Engineering Journal*, Volume 347, sayfa; 379-397, 2018
- [125] Zhai J. Ma H., Rahaman M. H., Yang Z., Chen Z., 'Comparison of Fenton, ultraviolet-Fenton and ultrasonic-Fenton processes on organics and colour removal from pre-treated natural gas produced water', *International Journal of Environmental Science and Technology*, volume 15, sayfa; 2411-2422, 2018
- [126] Gilpavas E., Gomez I. D., Garcia M. A. G., 'Optimization of solar-driven photo-electro-Fenton process for the treatment of textile industrial wastewater', *Journal of Water Process Engineering Volume 24*, sayfa; 49-55, 2018
- [127] Sanchis S., Anglada L. M., Serra A., Simon F. X., Sixto G., Casas N., Montano J. G., 'Solar photo-Fenton with simultaneous addition of ozone for the treatment of real industrial wastewaters', *Water Sci Technol*, 77 (10): 2497-2508. 2018
- [128] Vanessa L., Santos T. P. M., Zelinski D. W., Mafra L. I., 'Ferrous ions reused as catalysts in Fenton-like reactions for remediation of agro-food industrial wastewater', *Journal of Environmental Management*, Volume 222, 15, sayfa; 284-292. 2018
- [129] Çetinkaya S. G., Morcali, M. H., Akarsu S., Ziba C. A., Dolaz M., 'Comparison of classic Fenton with ultrasound Fenton processes on industrial textile wastewater', *Sustainable Environment Research Volume 28*, Issue 4, sayfa; 165-170, 2018

- [130] Affam, A. C., Chaudhuri M., Kutty S. R. M., ‘Comparison of Five Advanced Oxidation Processes for Degradation of Pesticide in Aqueous Solution’. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 13 (1): 179-186, 2018
- [131] Hassanshaki N. ve Jashni A. K., ‘Comparison of photo-Fenton, O₃/H₂O₂/UV and photocatalytic processes for the treatment of gray water’, *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 161, sayfa 683-690, 2018
- [132] Brito G. F. S., Olivera R., Grisolia. K. C., Souza L. G., Weber I. T., Almeida F.V. D., ‘Evaluation of advanced oxidative processes in biodiesel wastewater treatment’, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, Volume 375, Pages 85-90, 2019
- [133] Davarnejad R., Meysam S., Fatemeh P., Saeid H., Asma R., ‘Study on Soybean Oil Plant Wastewater Treatment Using the Electro-Fenton Technique’, *Chemical Engineering & Technology*, Volume 42, Issue 12, 2019
- [134] Gonçalves L. O., Starling M. C. V. M., Leal C. D., Oliveira D. V. M., Araújo J. C., Leão M. M. D., Amorim C. C., ‘Enhanced biodiesel industry wastewater treatment via a hybrid MBBR combined with advanced oxidation processes: analysis of active microbiota and toxicity removal’, *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 26, Issue 5, pp 4521–4536, 2019
- [135] Gamaralalage D., Sawabi O., Nunoura T., ‘Degradation behavior of palm oil mill effluent in Fenton oxidation’, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 364, sayfa 791-799, 2019
- [136] Hanife S. E., ‘Wastewater treatment from the biodiesel production using waste cooking oil by electrocoagulation: a multivariate approach’, *Water Sci Technol*, 79 (12): 2366–2377. 2019
- [137] Alalm M. G., Tawfik A. Ookawara S., ‘Degradation of Four Pharmaceuticals by Solar Photo-Fenton Process: Kinetics and Costs Estimation’. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3 (1): 46-55. 2015
- [138] Li X., Shen T., Wang D, Yue X., Liu X., Yang Q., Cao J., Zheng W., Zeng G., ‘Photodegradation of Amoxicillin by Catalyzed Fe³⁺/H₂O₂ Process’. *Journal of Environmental Science*, 24(2): 269-275. 2012
- [139] Ertugay N., Acar F. N., ‘Removal of COD and Color from Direct Blue 71 Azo dye Wastewater by Fenton’s Oxidation: Kinetic Study’. *Arabian Journal of*

Chemistry, Vol.10, S.1158-S1163.2017

<http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.02.009>

- [140] 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 (1): 98-102. 2007
- [141] Xu H., Yu T., Wang J., Wu F., Xu A., 'Kinetics Study of Fenton Degradation of Acid Yellow G by Online Spectrometry Technology', *Nature Env. and Poll. Technology*, Vol. 15, No.3: 991-996. 2016



ÖZGEÇMİŞ

2005 senesinde Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümünde üniversite okul hayatıma başladım. Lisans öğrenim hayatım boyunca Adana Büyükşehir Belediyesi Eysel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisinde, ÇED ve Çevre Danışmanlık Firmasında ve Çevre Laboratuvar firmalarında mesleki gelişim stajlarımı tamamladım. 2010 yılında Çevre Mühendisi olarak mezun olmam ile beraber askerlik vazifemi tamamlayarak ÇED ve Çevre Danışmanlık firmasında Çevre Mühendisi olarak meslek hayatıma başladım. 2014 yılında kendi Çevre Danışmanlık firmamı kurarak günümüze kadar çevre mühendisliği meslek hayatımı devam ettirmekteyim. Çevre Mühendisleri Odası ve Çevreci STK'larda aktif olarak rol almaktayım. Çevre kirliliği ve atıksu arıtımı hususunda akademik bilgilerimi derinleştirmek amacıyla 2017 senesinde kayıt olduğum Aksaray Üniversitesi ve Nevşehir Üniversitesi ortak Tezli Yüksek Lisans Programından mezun oldum.