

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

GRİ SUYUN FENTON PROSESİ İLE ARITIMI

**Hazırlayan
Gamze ÖZGÜROĞLU**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Nisan 2019
Nevşehir**

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

GRİ SUYUN FENTON PROSESİ İLE ARITIMI

**Hazırlayan
Gamze ÖZGÜROĞLU**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Nisan 2019
Nevşehir**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA danışmanlığında Gamze ÖZGÜROĞLU tarafından hazırlanan “Gri Suyun Fenton Prosesi İle Arıtımı” başlıklı bu çalışma, değerli jüri üyeleri tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **Yüksek Lisans** Tezi olarak kabul edilmiştir.

TARİH

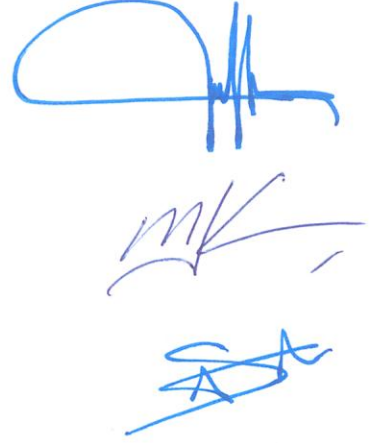
30.04.2019

JÜRİ

Başkan: Prof. Dr. Levent ALTAŞ

Üye: Doç. Dr. Mustafa KARATAŞ

Üye: Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA



ONAY

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **15/05/2019**.. tarih ve **28-267** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

28.5.2019
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak yazılan 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.

 (İmza)

Gamze ÖZGÜROĞLU

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasının planlamasında, araştırılmasında, oluşumunda ve yürütülmesinde engin bilgisi ve tecrübesi ile ışık tutan, hoşgörüsü ile yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Serkan ŐAHINKAYA'ya sonsuz saygı ve teŐekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar ve literatür çalışmaları sırasında bana her konuda yardımcı olan ve destek veren sevgili arkadaşlarım, Selen LALE ve Rabia HÜNGER'e yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans hayatım boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme çok teşekkür ediyorum. Son olarak maddi manevi yanımda olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, yorulduğum, pes ettiğim anda beni ayağa kaldıran, en iyi dostum, arkadaşım, kahramanım, canım babam Metin ÖZGÜROğLU'na çok teşekkür ediyorum.

Gamze ÖZGÜROğLU

Nevşehir 2019

GRI SUYUN FENTON PROSESİ İLE ARITIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Gamze ÖZGÜROĞLU

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2019

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, gri suyun KOİ, anyonik ve non-iyonik yüzey aktif madde parametrelerinin klasik Fenton uygulaması ile giderimi çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan gri su sentetik olarak hazırlanmıştır. Tüm deneyler laboratuvar ölçekli sistemde gerçekleştirilmiştir. Atıksuya uygulanan Fenton oksidasyonu sonucunda KOİ, anyonik ve non-iyonik yüzey aktif madde hedef parametreleri için, optimum pH, Fe⁺² ve H₂O₂ miktarları belirlenmiştir. Böylece KOİ, anyonik ve non-iyonik yüzey aktif maddelerin giderimi araştırılmıştır. Klasik Fenton prosesinde optimum koşullar; [pH] = 7,4, [Fe⁺²] = 50 mg/L, [H₂O₂] = 50 mg/L olarak belirlenmiştir. Belirlenen optimum şartlar altında ise KOİ, anyonik ve non-iyonik yüzey aktif maddelerin giderim verimleri sırasıyla % 75, %99,9 ve % 99,45 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Gri Su, Fenton prosesi, KOİ, Yüzey Aktif Madde*

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA

Sayfa Adedi: 49

TREATMENT OF GRAYWATER VIA FENTON PROCESS

(M. Sc. Thesis)

Gamze ÖZGÜROĞLU

NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL BAND APPLIED SCIENCES

April 2019

ABSTRACT

In this study, the treatment of grey water via the classical Fenton process was investigated for the removal of KOİ, anionic and non-ionic surfactants. Synthetic grey water was used in the study. All experiments were carried out in the laboratory scale. As a result of Fenton oxidation, optimum pH, Fe^{+2} and H_2O_2 doses were determined for KOİ, anionic and non-ionic surfactant that were selected as target parameters. Thus, KOİ, anionic and non-ionic surfactants were analysed. The optimum conditions in the classical Fenton process were determined as $[pH] = 7,4$, $[Fe^{+2}] = 50 \text{ mg/L}$, $[H_2O_2] = 50 \text{ mg/l}$. Under the optimum conditions, KOİ, anionic and non-ionic surfactants were determined as 75%, 99,9% and 99,45% respectively

Key words: *Grey Water, Fenton Process, COD, Surface Active Substance*

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA

Page of Number: 49

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİMİ	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
RESİMLER LİSTESİ	xi
KISALTMALAR	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Gri Su	3
2.1.1. Gri suların karakteristiği	6
2.1.2. Geri kullanımın önemi	8
2.1.3. Gri suyun doğrudan yeniden kullanımı	8
2.1.4. Arıtılmış gri su	9
2.1.5. Gri suyun kullanım yöntemleri ve bakımı	10
2.1.6. Gri su kazanımının faydaları	11
2.2. Fenton Prosesi	12
2.2.1. Fenton prosesinde oluşan kimyasal reaksiyonlar	12
2.2.1.1. Redoks reaksiyonlar	12

2.2.1.2.	Koagülasyon reaksiyonları	13	
2.2.2.	Fenton prosesinin avantajları ve dezavantajları	14	
2.2.3.	Fenton prosesinin etkileyen faktörler	17	
2.2.3.1.	pH etkisi	17	
2.2.3.2.	Sıcaklık	18	
2.2.3.3.	Katalist demir (Fe^{+2}) miktarı	18	
2.2.3.4.	Reaksiyon süresi	18	
2.2.3.5.	Hidrojen peroksit	19	
2.3.	Fenton Prosesiyle Gri Su Arıtım Çalışmaları	19	
BÖLÜM 3			
MATERYAL ve METOD.....			20
3.1.	Numune ve Kullanılan Cihazlar	20	
	Kullanılan cihazlar	20	
3.2.	Çözeltilerin Hazırlanması.....	21	
3.3.	Analiz Metodları	22	
3.4.	Optimizasyon Süreci	23	
BÖLÜM 4			
DENEYSEL SONUÇLAR			26
4.1.	Klasik Fenton Metodu İle Yapılan Deneysel Çalışmaların Sonuçları	26	
	Başlangıç pH'ının etkisi	26	
	Hidrojen peroksit konsantrasyonunun etkisi	29	
	Ferro demir konsantrasyonunun etkisi	32	
BÖLÜM 5			
KİNETİK ÇALIŞMA			35
BÖLÜM 6			

TARTIŞMA SONUÇ.....	41
KAYNAKÇA.....	43
ÖZGEÇMİŞ	49



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Günlük Evsel Atıksu Tüketim Oranları.....	4
Şekil 2.2.	Hacimlerine Göre Evsel Atıksuların Yüzdelik Dağılımları	5
Şekil 2.3:	Şematize Edilmiş Fenton Prosesi	16
Şekil 2.4 :	Fenton reaksiyonlarının tipik pH profili	18
Şekil 4.1:	Başlangıç pH değerinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi	27
Şekil 4.2 :	Başlangıç pH değerinin anyonik yüzey aktif madde giderim verimi üzerine etkisi	27
Şekil 4.3:	Başlangıç pH değerinin non - iyonik yüzey aktif madde giderim verimi üzerine etkisi	28
Şekil 4.4:	H ₂ O ₂ 'nin KOİ giderim verimi üzerine etkisi	29
Şekil 4.5:	H ₂ O ₂ 'nin anyonik yüzey aktif madde giderimi üzerine etkisi	30
Şekil 4.6:	H ₂ O ₂ 'nin non-iyonik yüzey aktif madde giderimi üzerine etkisi	30
Şekil 4.7:	Ferro Demir Dozunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi	32
Şekil 4.8 :	Ferro Demir Dozunun anyonik yüzey aktif madde giderimi üzerine etkisi	33
Şekil 4.9 :	Ferro Demir Dozunun non - iyonik yüzey aktif madde giderimi üzerine etkisi	33
Şekil 5.1 :	Zamana bağlı KOİ konsantrasyon grafiği	35
Şekil 5.2:	Zamana bağlı anyonik yüzey aktif madde konsantrasyon grafiği	36
Şekil 5.3:	Zamana bağlı non - iyonik yüzey aktif madde konsantrasyon grafiği	36
Şekil 5.4:	Fenton prosesi ile KOİ giderimine ait matematiksel modelin grafiği	39
Şekil 5.5:	Fenton prosesi ile Anyonik yüzey aktif madde giderimine ait matematiksel modelin grafiği	39
Şekil 5.6:	Fenton prosesi ile Non- iyonik yüzey aktif madde giderimine ait matematiksel modelin grafiği	40

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1: Gri Su Kaynağına Göre Kirletici Maddeler	5
Çizelge 2.2: Karakterizasyon Sonuçları Özetleri	8
Çizelge 3.1 : 10 L Sentetik Gri Su Formülasyonu	20
Çizelge 4.1 : pH'ın Fenton prosesi ile gri suyun arıtımına etkisi	26
Çizelge 5.1: Reaksiyon Dereceleri ve Reaksiyon Eşitlikleri	37
Çizelge 5.2: Sıfır, bir ve ikinci dereceden kinetik hız sabitleri için regresyon katsayıları	38
Çizelge 5.3: Matematiksel modelin belirlenmesi ve karakteristik sabitlerinin katsayıları	40

RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1:	Fenton Testi ve Jar Testi Düzeneği	16
Resim 3.1 :	Laboratuvar alışmaları sırasında numunelerin görüntüsü	25
Resim 3.2 :	Fenton prosesi için MnO ₂ ilavesi	25
Resim 4.1:	Hidrojen peroksit ilavesi ile Jar testi.	31
Resim 4.2:	Ferro demir dozunun optimizasyon alışması	34



KISALTMALAR

H₂O₂	Hidrojen Peroksit
ECOSAN	Ekolojik Eysel Atıksu Yönetimi
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TOK	Toplam Organik Karbon
mg/L	Miligram/Litre
NTU	Nefelometrik Bulanıklık Birimi
Dk	Dakika
°C	Santigrat Derece
AKM	Askıda Katı Madde
TP	Toplam Fosfat
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
NH₃-N	Amonyak Azotu
Fe⁺²	Ferro Demir
OH	Hidroksil
TAKM	Toplam Askıda Katı Maddeler
ml, L	Millitre, Litre
gr	Gram
K₂Cr₂O₇	Potasyum Dikromat
N	Normalite
H₂SO₄	Sülfirik Asit
NaOH	Sodyum Hidroksit
MnO₂	Mangan Dioksit
FeSO₄.7H₂O	Demir Sülfat Hepta Hidrat

Rxn	Reaksiyon
Rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
H₃O₂	Dioksidenyum
AAT	Atıksu Arıtma Tesisi



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yüzyıllar boyunca uygarlıkların kaderini belirleyen en temel etkenlerden biri su olmuştur. Su, klasik büyüme teorilerinde dünyamızdaki diğer doğal kaynaklar gibi sonsuz olarak kabul edilmiştir. Ancak su kıtlığının 21. yüzyılın başlıca sorunlarından biri olacağı ve bu nedenle de milyarlarca insanın hayatının suyun doğru yönetimine bağlı olduğu, farklı uluslararası forumlarda açıkça belirtilmiştir. Tarımsal, kentsel ve endüstriyel kullanımlar için ihtiyaç duyulan su, sınırlı bir kaynak olarak görülmektedir [1]. Suyun bozulan kalitesi ve hızla tükenen su kaynakları, dünyanın birçok bölgesinde insani, zirai ve endüstriyel ihtiyaçlar için ciddi kaygılar oluşturmaktadır [2]. Gelecekte suyun yerine geçebilecek maddenin bulunamayacağı gerçeğinden yola çıkarak suyun önemi daha da artacak, stratejik önemi olan bir kaynak olacağı öngörülmektedir [3].

Dünyada yaklaşık olarak 1,4 km³ su mevcut olup bunun %2,6'sı tatlı su, %97,4'ü tuzlu sudur. Toplam su miktarının yaklaşık olarak %0,8 kadarı kullanılabilen tatlı su olarak devamlı bir buharlaşma, yağış ve akış halinde bulunmaktadır. [4]. Dünyamızda kullanılabilir su kaynakları sınırlı olmakla birlikte günümüzde giderek bu kaynaklar azalmaktadır. İnsan hayatının en büyük ihtiyaçlarının başında gelen temiz su, artan dünya nüfusu, gelişen endüstrileşme, kentleşme, tarım nedeni ile sürekli azalmaktadır. Dünya nüfusu şuan ki verilere dayalı olarak her geçen yıl %1,7 oranında artmaktadır. [5]. Artan nüfus ile beraber ortaya çıkan arz ve talepte artmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, 25 yıllık bir süreçte gelişen endüstriyel faaliyetler ve kentleşme neticesinde, endüstriyel su tüketiminin 1,4 kat, evsel su tüketiminin ise 1,9 kat oranında artacağı öngörülmüştür [6 - 8]. Artan nüfus ile doğru orantılı olarak artan su tüketimi, mevcutta bulunan su rezervlerinin hızlı bir şekilde tüketilmesine sebep olmaktadır. Su kaynaklarının önemi gün geçtikçe artmaktadır ve alternatif kullanılabilir su kaynakları aranmaktadır. Dolayısıyla sürdürülebilir su kaynakları yönetimi önem kazanmıştır ve yeni yaklaşımların geliştirilmesi gerekmektedir [9].

Tarımda damla sulamanın uygulanması, daha az suya ihtiyaç duyan bitki türlerinin tercih edilmesi, endüstriyel üretimde daha az su tüketen proseslerin tercih edilmesi ve kullanılmış suların geri kazanımı gibi yapılan çalışmalar su rezervlerinin korunması ve iyileştirilmesi için alınan önlemlere örnek olarak verilebilir. Su tüketiminin azaltılması için özellikle çamaşır yıkama, bahçe sulama, tuvalet rezervuarları ve diğer temizlik işleri için su kullanımının azaltılmasına yönelik önlemler alınmalıdır. Günümüzde evsel atıksular, tuvaletlerden kaynaklanan siyah su ile duş ve bulaşık yıkama gibi temizlik sularını içeren gri su olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Özellikle su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde gri su, geri kazanım işlemleri neticesinde yeniden kullanılabilir bir kaynak olarak görülmektedir. Bu nedenle, siyah suların ve gri suların kendi özelliklerine göre ayrılarak kaynağında uygun işlemlere tabii tutularak arıtılması gündemdedir. Günümüzde su kaynaklarının korunması için yeniden kullanımı önem kazanmaya başlamıştır [7]. Gri suların kirlilik yüklerinin daha düşük olması, arıtılmalarını hem daha ucuz hem de daha kolay kılmaktadır. Böylece, gerekli arıtım işlemlerinden geçtikten sonra sulama amaçlı veya yeraltı suyu beslemesi olarak kullanılabilir. Gri suyun arıtılması ve yeniden kullanımı, su rezervlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında etkili olacaktır [10].

Bu tez çalışmasında, gri suların bir ileri oksidasyon prosesi olan Fenton prosesi ile arıtılabilirliğinin araştırılmıştır. Bu amaçla, kimyasal oksijen ihtiyacı, anyonik yüzey aktif maddeler ve non-iyonik maddeler hedef kirleticiler olarak seçilmiştir. Bu kapsamda,

- Laboratuvarında sentetik olarak hazırlanan gri atıksuyun arıtımına pH'ın etkisi,
- Hidrojen peroksit (H_2O_2) konsantrasyonunun etkisi,
- Katalist ferro demir (Fe^{2+}) konsantrasyonunun etkisi araştırılmıştır.
- Belirlenen optimum şartlarda kinetik çalışma da gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2

KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Gri Su

Son yıllarda sürdürülebilirlik kavramı oldukça dikkat çeken konulardan biri olmuştur. Çevre kirliliğinin azaltılması, doğal kaynakların yeniden ve güvenilir bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Özellikle son zamanlarda gelişen yeni bir kavram olan ekolojik evsel atıksu yönetimini inceleyen ECOSAN'a (Ecological Sanitation) göre, evsel atıksular bir kirletici olmayıp, doğru işlemlerden geçirildikten sonra yeniden kullanılabilen su kaynağıdır. ECOSAN'a göre, evsel atıksular kendi içlerinde sınıflandırılarak, sınıfın özelliklerine uygun olan işlemden geçirilerek tekrar kullanmak üzere değerlendirilmesini savunmaktadır [11].

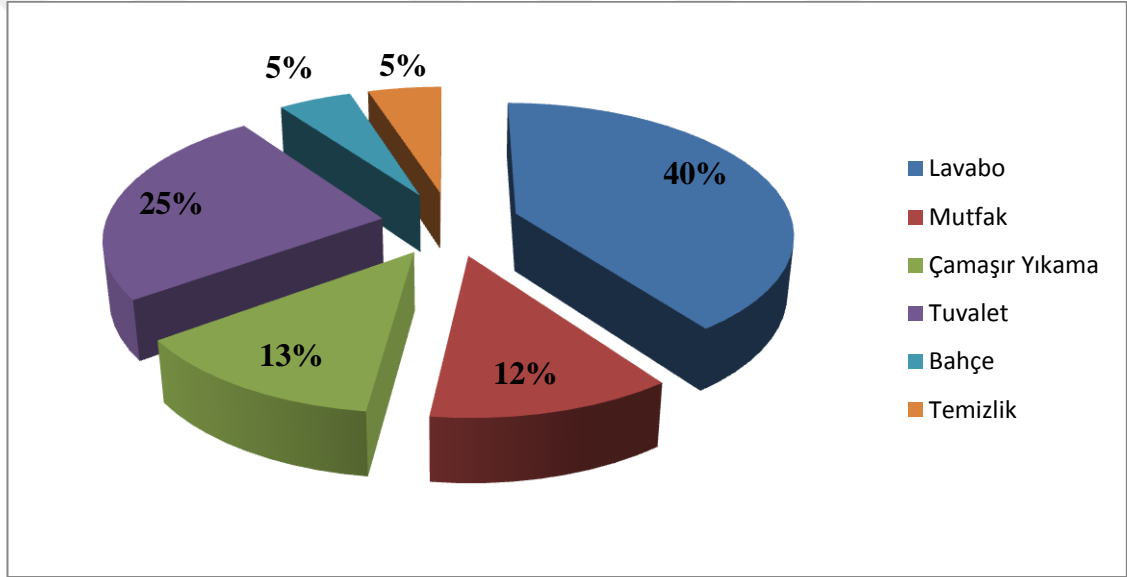
Gri su, önemi tüm dünyada gittikçe artmakta olan bir kavramdır. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Avustralya gri suyun yeniden kullanımı konusunda hassas politikalar geliştiren önemli ülkelerdir. Dünyanın diğer coğrafyalarında da, başta gelişmiş ülkeler olmak üzere birçok ülkede bu hassasiyet hızla artmaktadır [12]. Ülkelerin gri su ile ilgilenmelerinin birçok farklı nedeni vardır. Örneğin Japonya nüfusun fazla olması nedeni ile daha çok gri su ile ilgilenirken; Amerika Birleşik Devletleri, Suudi Arabistan, Ürdün ve Avustralya gibi ülkeler kurak şartlar nedeni ile gri suyu alternatif kaynak olarak görmektedirler [13].

Gri suyu bu kadar önemli kılan en önemli etkenlerden biri, gri su üretimine neden olan çok şeyin hayatımızda yer bulmuş olmasıdır [14]. Gri suyun kirlilik derecesini temel olarak tüketicilerin alışkanlıkları belirlemekte ve oluşan kirlilik kullanılan deterjanların, vücut kirinin, kişisel hijyen ürünlerinin ve kirli kıyafetlerinin bir sonucudur. Gri sular kişisel hijyen ihtiyaçlarından dolayı sürekli oluşmaktadır. Şekil 2.1'de günlük evsel atıksu tüketim oranları verilmektedir [10].

TS EN 1085 standardına göre, evsel atıksu, evlerde temizlik ve hijyen amaçlı kullanılan, lavabodan, banyodan, tuvaletten, çamaşır makinesinden, mutfaktan ve benzer amaçla kullanılıp kanalizasyona verilen atıksulardır (Çizelge 2.1). Siyah su, evsel atıksuyun tuvaletlerden gelen ve fosseptik atığını içeren kısmıdır. Dolayısıyla gri su, evsel

atıksuyun siyah su içermeyen yani fosseptik atığı içermeyen, yani duştan, lavabodan, küvetten ve hatta mutfaktan gelen atıksu olarak ifade edilmektedir [15, 16].

Bu kaynaklardan hiçbiri, tuvalet atıklarındakilerle aynı büyüklükteki hastalık organizmalarını içeren sular değildir. Atıksularda ki en büyük patojen dışkıdır. Bu nedenle siyah su ile gri su arasındaki en önemli fark, her birinde bulunan kirleticilerin çürüme oranında yatmaktadır. Siyah su, halihazırda doğanın en etkili "arıtma tesisleri" ne maruz kalmış olan organik bileşiklerden oluşur: insan vücudunun sindirim sistemi. Bu işlemde elde edilen yan ürünlerin suya yerleştirildiğinde hızla ayrışmadığı anlaşılabilir bir durumdur [58].



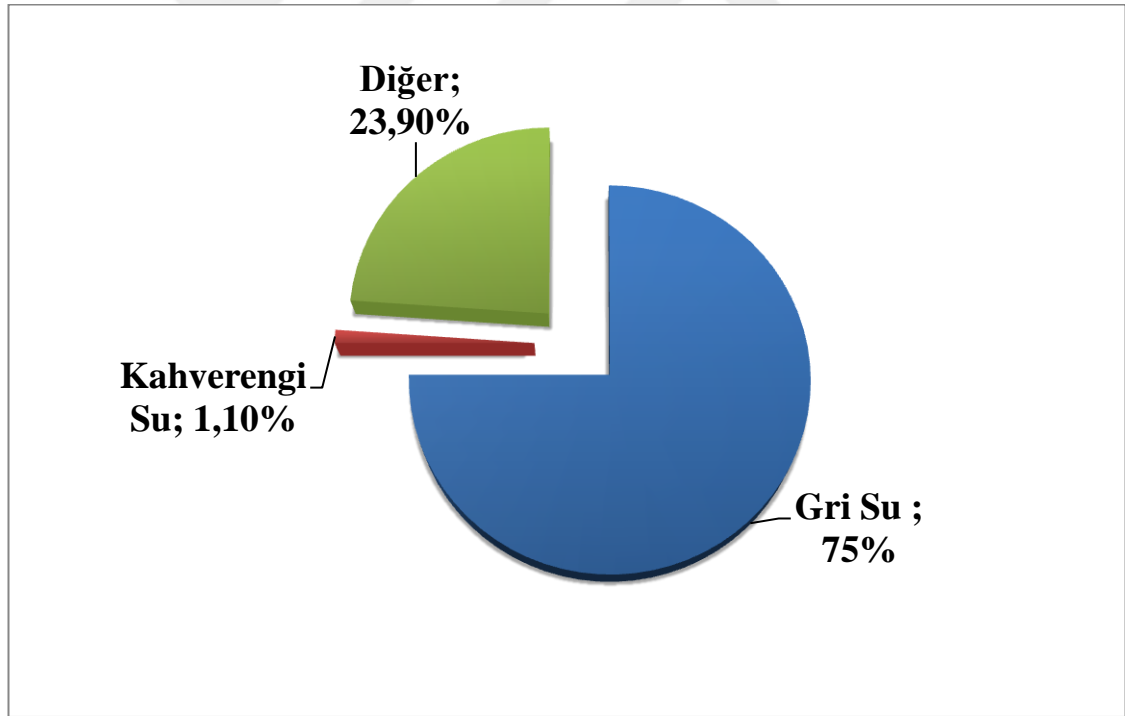
Şekil 2.1: Günlük Evsel Atıksu Tüketim Oranları [10]

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, evlerde kullanılan suyun hacmi, tüketicinin alışkanlıklarına ve yaşam faaliyetlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Gri suyun miktarı ve karakteri de,

- Sosyal ve kültürel alışkanlıklara (günlük el/yüz yıkama, duş alma, diş fırçalama sıklığı),
- Ekonomik imkânlarla,
- Nüfusa bağlı olarak değişiklik göstermektedir [17].

Çizelge 2.1: Gri Su Kaynağına Göre Kirletici Maddeler [7]

Gri Su Kaynağı	Kirletici Maddeler
Duş- Kuvet	Saç, sabun, organik madde, şampuan kalıntıları, askıda katı madde, bakteri.
Lavabo	Yağ ve gres, bakteri, organik madde, sabun, askıda katı madde.
Çamaşır Makinesi	Organik madde, yağ ve gres, nitrat, sodyum, pH, askıda katı madde, fosfor, çamaşır suyu .
Bulaşık Makinesi	pH, artan tuzluluk, deterjan, yağ ve gres, bakteri, askıda katı madde, organik madde.



Şekil 2.2: Hacimlerine Göre Evsel Atıksuların Yüzdeleri Dağılımları [18]

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi evsel atıksuların hacimsel olarak %75’ini gri sular oluşturmaktadır [10]. Evlerde kullanılan su, kullanımdan hemen sonra kanalizasyon şebekesine verilmektedir. Fakat dünyada ki su kaynaklarının giderek azalması nedeniyle, var olan arıtılabilir suları arıtıp yeniden kullanmak kaynakların sürdürülebilir kullanımını için çok önemlidir

2.1.1. Gri suların karakteristiği

Gri su içerisinde yüksek miktarda organik maddenin yanında BOİ, KOİ, TOK, pH, alkalinite, ağır metal, tuz, yağ ve gres, yüzey aktif maddeler ve diğer evsel kimyasal maddeler yer almaktadır. Kirlilik yükü yüksek olan gri suyun pH değeri, düşük kirlilik yüklü gri suyun pH değerinden genellikle daha yüksektir. pH değeri yüksek yüklü gri suda 6,35-10 arasında iken; düşük yüklü gri suda 6,4-8,1 aralığındadır [19]. Gri suda alkalinite değeri genellikle 20–340 mg/L aralığında değişmektedir [20]. KOİ ve BOİ konsantrasyonu kullanılan su ve kimyasal ürün miktarına bağlı olarak değişmektedir. KOİ ve BOİ değerler yüksek yüklü gri suda sırasıyla 50 – 2568 ve 44 -1056 mg/L aralığındayken, düşük yüklü gri suda 23–633 ve 23–300 mg/L aralığında değişmektedir (Çizelge 2.2) [19].

Gri sular normalde siyah su ile kıyaslandığında nutrient içeriğinin daha az olduğu görülmektedir. Azot ve fosfor gibi besin maddeleri atıksuların deşarjındaki önemli parametrelerdendir. Gri sularda fazla miktarda fosfor bulunması ötrofikasyon sorununa neden olmaktadır. Bu durum aşırı alg üremesine, sucul ekosistemin dengesinin bozulmasına, toplu balık ölümlerine, suyun kullanılabilirliğinin sınırlanmasına ve estetik sorunlara sebep olmaktadır. Gri sularda azot ve fosfor, genellikle şampuan, bulaşık deterjanı gibi kimyasal temizlik ürünlerinden kaynaklanmaktadır [10]. Gri sulardaki azot kaynağı, mutfaktan gelen gri sulardır. Bazı ülkelerde fosfor içerikli deterjanlar yasaklanmadığı için, çamaşır ve bulaşık makinelerinde kullanılan fosforlu deterjanlar gri suda ki fosforun ana kaynağıdır. Tayland gibi fosfor içeren deterjanların kullanıldığı ülkelerde fosfor konsantrasyonu 45-280 mg/L aralığında iken, sınırlı fosfor içeren deterjanların kullanıldığı ülkelerde ise ortalama fosfor konsantrasyonu 4-14 mg/L aralığında değişmektedir [20]. Azot ve fosfor gibi besleyici maddeler biyolojik arıtım aşamalarında ana madde olarak kabul edildiğinden, alternatif arıtım seçeneklerinin araştırılmasına neden olmuştur [19].

Gri sudaki yağ ve gresin kaynağı mutfaktan gelen sular oluşturmaktır. Gres ve yağ konsantrasyonları sırasıyla 8–35 mg/L ve 37-78 mg/L aralığında değişmektedir [20]. Banyo ve çamaşırhanelerde de önemli miktarda yağ ve gres konsantrasyonları gözlenebilmektedir [16].

Evsel temizlik ürünleri, sudaki yüzey aktif maddelerin temel bileşenidir. Gri sularda yüzey aktif maddelerin ana kaynağı bulaşık ve çamaşır makinelerinde kullanılan deterjanlardır. Evsel ve kişisel temizlik ürünleri diğer yüzey aktif madde kaynaklarıdır. Gri sudaki yüzey aktif madde konsantrasyonu kullanılan deterjan miktarına bağlı olarak değişmektedir [16].

Gri suyun fiziksel parametreleri ise sıcaklık, renk, bulanıklık, iletkenlik ve askıda katı maddelerdir. Elektriksel iletkenlik ve bulanıklık düşük yüklü gri suda sırasıyla 14-1241 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 12,6-375 NTU iken; çok kirli gri suda ise sırasıyla 190-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 19–444 NTU aralığında değişmektedir [19].

Gri suda sıcaklık su kaynağına göre değişkenlik göstererek çoğu zaman daha yüksek olmakla birlikte 18–30 °C aralığında değişmektedir. Bu sıcaklık değerlerinin yemek yapımı ve kişisel hijyen için kullanılan ılık sulardan kaynaklanmaktadır [20]. Yüksek sıcaklık değeri bakteriyel büyüme de artışa ve depolama tanklarında çökelmelere neden olabilmektedir [16].

Gri suda yüksek katı madde içeriğini, banyodan, çamaşır makinelerinden ve mutfaktan gelen yemek artıkları, yağ ve katı parçalar oluşturmaktadır. Bu katı maddeler ve kolloidler sularda bulanıklığa, arıtmada kullanılan borularda ise tıkanmalara sebebiyet vermektedir. Askıda katı madde (AKM) konsantrasyonu az kirli gri suda 12-315 mg/L aralığında, çok kirli gri suda ise 29–505 mg/L aralığında değişmektedir [19].

Çizelge 2.2: Karakterizasyon Sonuçları Özetleri [21, 22]

Parametreler	Gri Su	Evsel Atıksu		
	Ortalama	Zayıf	Orta	Kuvvetli
KOİ (mg/L)	113	250	430	800
BOİ ₅ (mg/L)	40	110	190	350
KOİ (mg/L)	40	-	-	-
TP (mg/L)	2,3	4	7	12
PO ₄ -P (mg/L)	0,8	3	5	10
TKN (mg/L)	4,8	20	40	70
NH ₃ -N (mg/L)	3,5	12	25	45
AKM (mg/L)	66	120	210	400

2.1.2. Geri kullanımın önemi

Gri suyun geri kazanımı ile doğal su kaynaklarının büyük ölçüde korunması sağlanmaktadır. Gri su yerinde arıtım işlemine tabii tutulduğunda, kanalizasyondan ayrı olacağı için belediyelere arıtmak üzere giden atıksuyun hacminde azalma olur böylelikle arıtma için gerekli olan yatırım maliyeti de düşmektedir. Gri su, sulama suyu olarak kullanıldığında, içerisinde oldukça organik madde bulunduğu için iyi bir gübre kaynağı ve besleyici su olma özelliği de taşımaktadır [23].

2.1.3. Gri suyun doğrudan yeniden kullanımı

Gri sular arıtmaya tabii tutulmadan kullanılması durumunda, hastalık yapıcı bakteri ve mikroplar yok edilmediği için insan sağlığı açısından zararlı olabilmektedir. Bu yüzden insanlar direkt temastan kaçınılmalıdır. Gri sular doğrudan sulama amaçlı kullanılabilir. Fakat uzun vadeli kullanımında suda bulunan tuzlar, yüzey aktif maddeler, yağ ve gres bitki sağlığını ve toprağın yapısını olumsuz etkilemektedir ve bunun sonucunda yer altı sularının kirlenmesine sebep olmaktadır.

Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri gibi bazı ülkelerde gri suyun doğrudan kullanımıyla ilgili iki uygulama şekli vardır.

1: Banyo lavaboları ve çamaşır makinelerinden gelen gri suyun atıksu hattına bağlanmadan direkt olarak tuvalet rezervuarında kullanılmaktadır.

2: Gri su direkt olarak bahçe sulamada kullanılmaktadır [16].

2.1.4. Arıtılmış gri su

Gri sular siyah suları içermediği için kolaylıkla arıtılıp yeniden kullanılabilirler. Arıtılmış gri su kullanılması aslında uzunca zamandır dünyanın birçok bölgesinde var olan uygulamalardır ve giderek yaygınlaşmaktadır [15]. Bazı ülkelerde arıtılmış gri suların yeniden kullanım oranı %80'lere ulaşmıştır. Bu nedenle gri suyun yeniden kullanım konusu ülkemiz açısından da büyük önem taşımaktadır [24].

Gri su arıtımında istenilen standartlara ulaşmak için suyun karakteristiğine bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Gri su kullanılacağı yerin standartlarına uygun olarak arıtılması gerekmektedir.

Gri suyun arıtımından elde edilen kullanım suyu katı madde içermemeli, hijyen ve sağlık açısından güvenilir olmalıdır [10]

Gri su arıtmadan geçtikten sonra kullanım seçeneği ve maliyetine bağlı olarak farklı sistemler tercih edilebilir. Gri suyun arıtıldıktan sonra kullanıldığı alanlar,

- Bahçe sulaması,
- Tuvaletlerin rezervuarları,
- Çamaşır makineleri,
- Yangın söndürme
- Golf sahaları
- Yapay şelaleler
- Cadde, sokak ve Pazar yeri yıkamaları şeklinde sıralanabilir [23].

2.1.5. Gri suyun kullanım yöntemleri ve bakımı

Gri su sürdürülebilirlik açısından büyük bir öneme sahip olsa da içerisinde birçok bileşen bulundurduğu da gözden kaçırılmamalıdır. Bu nedenle dikkat edilmesi gereken önemli hususlar vardır. Gri sular herhangi bir işleme tabii tutulmadan kullanılacak ise,

bir takım riskler ortaya çıkabilmektedir. Gri suyun alınması, taşınması, biriktirilmesi gibi durumlar mikrobiyolojik açıdan problem yaratabilmektedir [25]. Bu problemlerin en önemlisi ise tuvaletten sağlanacak lavabo suyuna bağlı gri suyun bulundurduğu risktir. Çünkü tuvaletlerde sifonun kullanılmasıyla beraber havaya yayılan spreylenen mikroorganizmaların varlığıdır [26, 27].

Gri suların kullanımında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar şunlardır ve San Francisco Toplum Yararı Komisyonu [San Francisco Public Utilities Commission, 2012 Anonim, 2012] tarafından aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

- Gri suların 24 saatten fazla bekletilmesi kötü kokular ve bakteriler oluşmasına neden olmaktadır.
- Gri sular ile temas en aza indirilmelidir. İçerisinde patojen içerebileceğinden, sağlık açısından tehdit oluşturabilir.
- Gri suyun zeminle buluşması sırasında sızıntı ya da kaçak olma ihtimaline dikkat edilmez.
- Gri su havuzları sivrisinekler için elverişli bir ortamdır, bu nedenle insan teması düşünülerek dikkatli kurulmalıdır.

Tüm bunların yanı sıra gri suyun kullanımının fayda sağlayacağı birçok husus bulunmaktadır. Bunlar, içme suyunun gereksiz kullanımını azaltmak, ekonomik destek, su faturalarında azalma ve atıksuların artırılmasına yönelik enerji ihtiyacı ile kimyasalların azaltılması olarak sayılabilmektedir.

2.1.6. Gri su kazanımının faydaları

Gri suların geri kazanımı hem çevrenin korunması için hem de maddi açıdan tasarruf için oldukça etkili bir kaynak olarak değerlendirilebilir. Gri suyun geri kazanımının faydaları şunlardır:

- Geri kazanılan gri suyun hijyen standartlarını sağlaması,
- Şebeke suyu dağıtım hatlarındaki yoğunluğun ve gereksiz su kullanımının azaltılması,
- % 40'ye yakın su tasarrufu sağlaması,
- Siyah suya göre kirlilik yükü daha az olduğundan dolayı, daha hızlı ve kolay arıtılabilmesi,
- Doğal su kaynaklarının korunması ve daha verimli halde kullanılması,
- Süs havuzlarında hatta arıtılmış gri suyun kalitesine göre araç yıkama, yangın söndürme gibi işlemlerde ve çamaşır yıkamada dahi kullanılabilmesi [28].

2.2. Fenton Prosesi

Henry John Horstman Fenton tarafından 1894 yılında keşfedilmiş ve daha sonra “Fenton Reagent” olarak adlandırılan Fenton metodu; 1960’lı yıllardan itibaren toksik organik maddelerin parçalanması amacı ile bir oksidasyon prosesi olarak uygulanmıştır [29]. Fenton metodunun en önemli avantajı oksidasyon ve koagülasyonu birleştirmiş olmasıdır. Bu avantaj, atıksu da bulunan organik kirleticilerin oksidasyon yoluyla arıtımının yanı sıra koagülasyon yoluyla da ikinci bir giderimini sağlamaktadır. Fenton metodu bu sebepten dolayı iki arıtım mekanizmasına sahip bir yöntemdir [30].

Klasik Fenton prosesi, asidik şartlarda ferro demir (Fe^{2+}) ve hidrojen peroksidin (H_2O_2) reaksiyona girerek katalitik olarak parçalanmasına dayanmaktadır. Zincirleme reaksiyonlar sonucunda bilinen en güçlü ikinci oksidant radikal olan hidroksil radikalleri (OH^\bullet) meydana gelmektedir. Oluşan OH^\bullet organik ve inorganik kökenli yapıları oksitleyebilen seçici olmayan bir radikaldir [31, 32]. İleri oksidasyon proseslerinden biri olan Fenton prosesi ile çok kirli endüstriyel atıksulardan renk giderimi, toksisite ve KOİ giderimi çalışmaları gerçekleştirilmiştir [32].

2.2.1. Fenton prosesinde oluşan kimyasal reaksiyonlar

2.2.1.1. Redoks reaksiyonları

Fenton metodu reaksiyonunun esas amacı, reaksiyon ortamında yüksek oksitleme kapasitesine sahip OH^\bullet radikallerinin üretilmesidir. Fenton reaksiyonunun mekanizması oldukça komplekstir ve kararlı sonuçlar alabilmek için optimum şartlar sağlanmalı ve korunmalıdır [33, 34].

Ferro demir ve hidrojen peroksidin redoks reaksiyonları asidik koşullarda daha karardır. Organik maddelerin ve ferro iyonlarının var olduğu bir su ortamına hidrojen peroksid verildiğinde Eşitlik (2.8) ve (2.9)’ da görüldüğü gibi ardışık reaksiyonlar meydana gelmektedir [35].

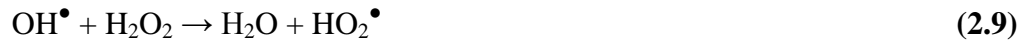
Fenton oksidasyonu, reaksiyon esnasında yüksek oksitleme kapasitesine sahip hidroksil radikallerinin oluşumunu destekleyen ve aşağıdaki denklemlerle ifade edilen kimyasal mekanizmalar içermektedir [36].



Ortamdaki Fe^{2+} hidroksil radikallerinin diğer bir reaksiyonuyla Fe^{3+} 'e yükseltgenmektedir,

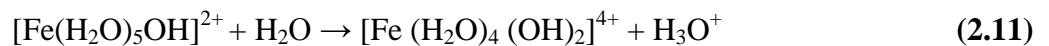
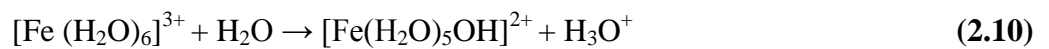


Fe^{3+} 'ün katalitik etkisiyle aşağıda belirtilen hidroksil ve hidroperoksil radikal oluşum mekanizmaları ile hidrojen peroksit bozunmaktadır

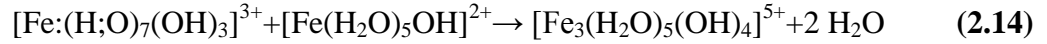
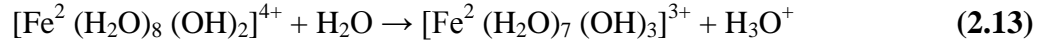
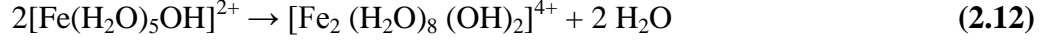


2.2.1.2. Koagülasyon reaksiyonları

Organik maddelerin parçalanarak ürünlere dönüşmesi renk giderimi açısından da avantaj sağlamaktadır. Demir iyonları suya verildiği zaman hidroksil iyonları ile ferik hidroksi kompleksleri oluşturur ve aşağıdaki kompleks oluşturma reaksiyonları meydana gelir [37].



(2.10) ve (2.11) eşitliğinde oluşan kompleksler polimerize olmaktadır. Düşük pH değerinde koagülasyon meydana gelmektedir.



2.2.2. Fenton prosesinin avantajları ve dezavantajları

Fenton prosesi, oksidasyon ve koagülasyon proseslerinin avantajlarına sahip olmakla beraber, sudaki oksijen miktarını da arttırmaktadır.

Fenton prosesinin avantajları şunlardır;

- Mevcut olan atıksu arıtma sistemlerine kolaylıkla adapte olabilecek esnek ve basit bir süreçtir,
- Kullanılan kimyasallar kolayca temin edilebilmektedir,
- İlk yatırım maliyeti uygundur,
- Farklı proseslere de uyum sağlamaktadır,
- Biyolojik bir arıtım için zehirliliğin azaltılmasında rol oynamaktadır,
- Uygulama süresi nispeten kısadır,
- Yüksek oranda verimlilik sağlar,
- Kalıntı zararlı madde üretmez,
- Kimyasal olarak inert çamur arıtımı gerçekleştirir,
- Çok çeşide sahip maddelerin arıtılmasında kararlıdır,
- Kirleticileri kolayca yok edilebilir, [38, 39].

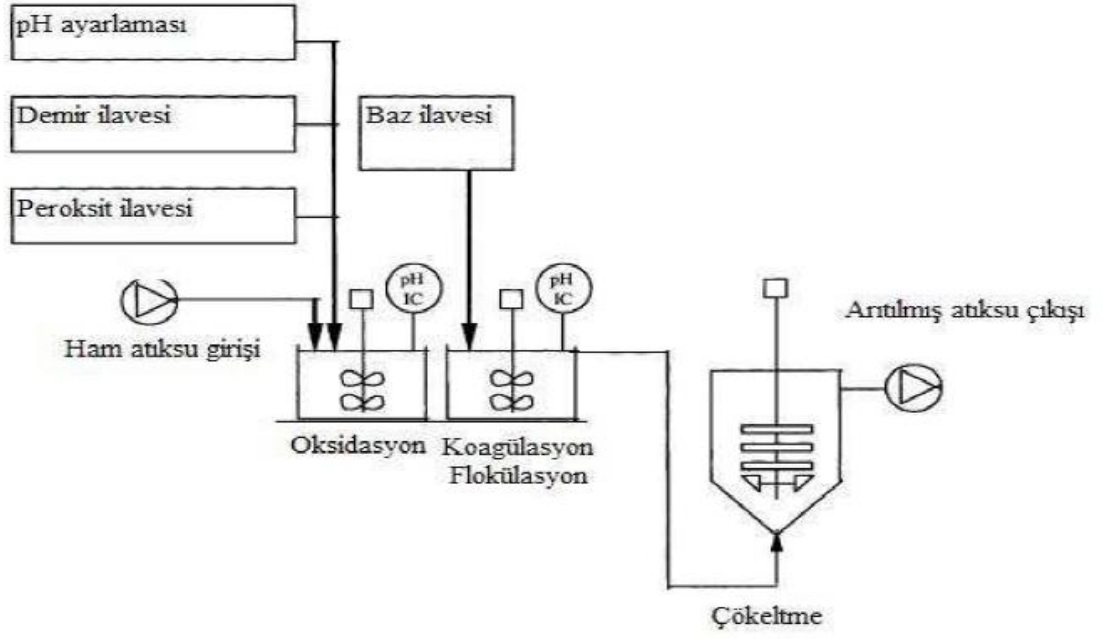
Fenton prosesinde koagülasyon işlemi de gerçekleştiğinden, atıksuda mevcut olan kirleticiler, çamur olarak çökelmekte ve çamur problemi ortaya çıkmaktadır [40]. Sistemin dezavantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Kullanılan kimyasalların tehlikeli olması ve depolama, taşıma maliyetinin fazla olması,
- Çözeltideki pH'ın 2-5 arasına düşürülmesi için çok fazla miktarda kimyasal gerektirmesi,
- Oluşan kimyasal inert çamurun bertarafının zorunluluğu,
- Kimyasal maliyetinin kirlilik yükündeki artış ile yükselebilmesi
- Çamurun bertaraf maliyetinin yüksek olabilmesi,
- Köpük kontrolüdür [38, 39].

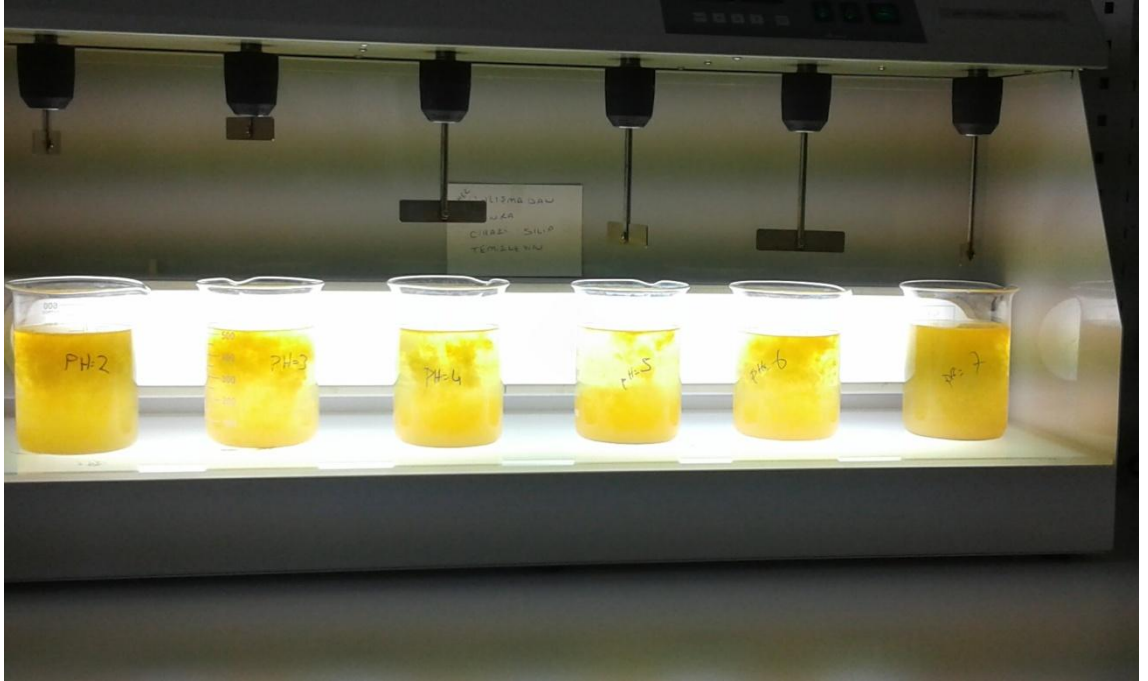
Şekil 2.3'te gösterildiği üzere Fenton prosesi temel anlamda dört ana aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar,

- 1. pH ayarlama ($2 < \text{pH} < 5$):** Ortamda asidik koşullar sağlanmalıdır.
- 2. Oksidasyon Reaksiyonları:** Fenton reaktifleri olan Fe^{2+} tuzları ve H_2O_2 eklenmektedir, hidroksil (OH^*) radikalleri oluşturulur. Bu sırada organik madde reaksiyona girerek Fe^{2+} , Fe^{3+} 'e yükseltgenmektedir.
- 3. Nötralizasyon ve Koagülasyon:** Reaksiyon periyodu tamamlandıktan sonra, çözünmüş formdaki demir komplekslerinin çöktürülmesi için pH 7 – 8 civarına ayarlanmaktadır. Bu pH değeri Fe^{3+} floklarının çökebilmesi için en uygun aralık olarak kabul edilmektedir.
- 4. Çöktürme:** Oluşan demir hidroksit floklarının çöktürülmesi için atıksu, durgun şartlarda çökme gerçekleşene kadar bekletilmektedir ve duru su ile çamur birbirinden ayrılmaktadır. Böylece Fenton süreci sonlandırılmaktadır [31, 41].

Fenton prosesine ait bir uygulama örneği Resim 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Şematize Edilmiş Fenton Prosesi [42]



Resim 2.1: Fenton Testi ve Jar Testi Düzeneği

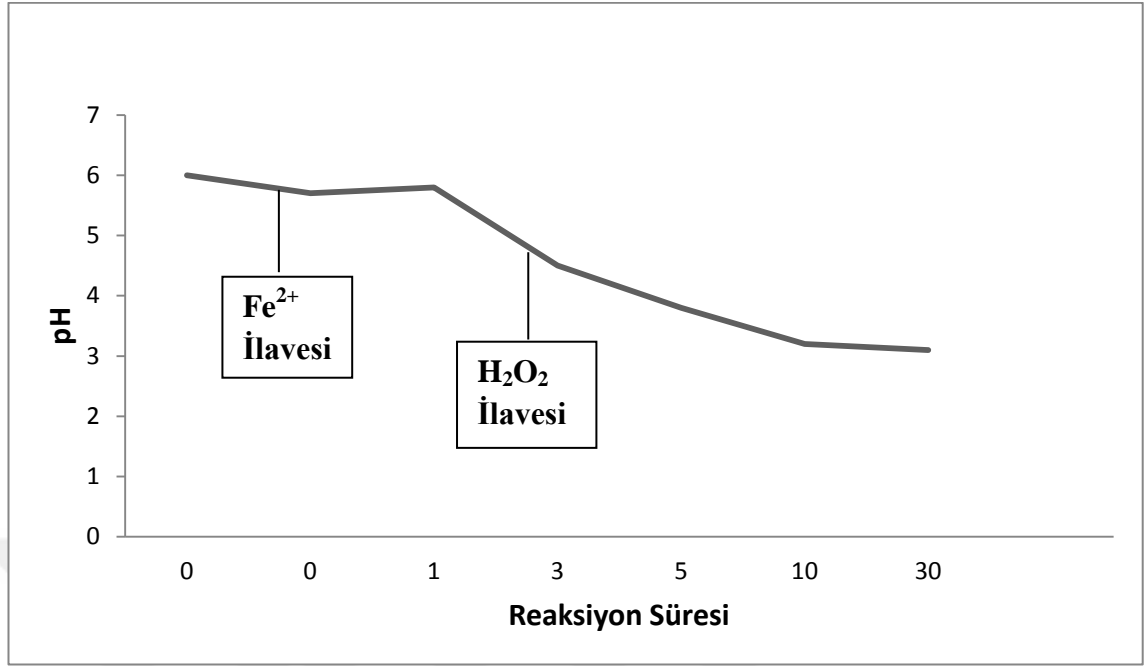
2.2.3. Fenton prosesini etkileyen faktörler

Fenton prosesine; sıcaklık, pH, ferro demir ve hidrojen peroksit (H_2O_2) konsantrasyonu, atıksu karakterizasyonu etki etmektedir.

2.2.3.1. pH etkisi

Fenton prosesinde redoks reaksiyonları sulu çözelti içerisinde asidik koşullarda daha verimlidir ve KOİ açısından önemlidir. Asidik koşullarda Fenton verimi yüksekken bazik koşullarda düştüğü gözlemlenmektedir. Bu durumun sebebi olarak Fe^{2+} iyonunun Fe^{3+} floklarına dönüşmesi ve katalitik etkinliğinin kaybedilmesidir. Fenton prosesinde pH değeri 3,5'ten küçük olduğu zaman, H_2O_2 ve Fe^{2+} daha kararlı bir hale dönüşmektedir. pH 4'den yüksek olduğu zaman Fe^{2+} daha kararsızdır ve kolaylıkla demir hidrokso kompleksleri oluşturulmaktadır. Yüksek pH değerinde H_2O_2 'nin oksitleme yeteneği azaldığından kararsız hale gelmektedir. Ferro demir kaynağı olarak kullanılan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 'nun ilavesi ile ortam pH'ı düşmektedir. Bunun nedeni ise asidik karakterli olmasıdır. H_2O_2 eklenmesi ile pH değeri daha da düşmektedir (Şekil 2.4) Fenton için en uygun pH yaygın olarak 3 olarak değerlendirilip uygulamada kabul görmektedir. Bu nedenle sistem pH'ı sürekli kontrol edilmeli ve reaksiyon istenilen değerlerde yürütülmelidir [41, 43-47]. Ayrıca eklenen katalizörler ile pH değişmektedir.

Şekil 2.4'te Fenton prosesinin uygulanışı sırasındaki pH'daki değişim gösterilmektedir. İlk düşüş, asidik karakterli olan ferro demir katalizörünün ilave edilmesinden kaynaklanmaktadır. İlave edilen ferro demir konsantrasyonuna bağlı olarak, pH'ta daha belirgin bir düşüş meydana gelmektedir ve büyük ölçüde katalizör konsantrasyonuna bağlı olan bir oranda yavaş yavaş devam etmektedir. H_2O_2 ilave edildiğinde ise, Fenton reaksiyonunun sonucunda ortamda H^+ iyonu reaksiyon ortamında üretilmekte ve pH hızla daha fazla düşmektedir [48]. Bu durum atıksuyun alkalinite içeriğine göre değişmektedir.



Şekil 2.4 : Fenton reaksiyonlarının tipik pH profili [48]

2.2.3.2. Sıcaklık

Fenton prosesinin verimi yüksek sıcaklıklarda düşük sıcaklıklardan daha iyi gerçekleşmektedir. Sıcaklık reaksiyon süresine ve H₂O₂ dönüşme süresine de etki etmektedir. Sıcaklık arttıkça reaksiyon süresi de azalmaktadır. Fenton prosesi için optimum sıcaklık 20 – 40 °C aralığındadır [49, 50].

2.2.3.3. Katalist demir (Fe²⁺) miktarı

Fenton prosesinde katalist demir miktarının artması veya azalması giderim verimine etki etmektedir. Yüksek dozlarda kullanılması verimi arttırabilse de, belli bir konsantrasyondan sonra Fenton reaksiyonu sonucunda üretilen OH[•] radikallerini fazla demiri süpürmekte ve arıtma verimini düşürmektedir.

2.2.3.4. Reaksiyon süresi

Reaksiyon zamanı atıksu karakteristiğine, içerdiği kirlilik yükü ve organik maddelerin yapılarına göre değişmektedir. Reaksiyonların tamamlanabilmesi için, organik içeriği düşük olan atıksularda 1 saat ve daha kısa olurken, organik içeriği daha yüksek olan atıksularda ise 10 – 24 saat gibi yüksek süreler beklenebilmektedir [41].

2.2.3.5. Hidrojen peroksit

Kirlilik yükü fazla olan atıksularda başlangıçta H_2O_2 ve demir konsantrasyonunun fazla tutulması kirleticilerin parçalanma hızını arttırmaktadır. Bir noktadan sonra fazla hidrojen peroksit, hidroksil radikalleriyle reaksiyona girerek oksidasyon veriminin düşmesine sebep olmaktadır [51].

2.3. Fenton Prosesiyle Gri Su Arıtım Çalışmaları

Gri suların arıtımı üzerinde yapılmış ve literatürde yer alan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Tony ve arkadaşlarını yaptığı çalışmada (2016), bir çamaşırhaneden toplanan gri su ile arıtma verimliliği, gri suyun KOİ değişiklikleri ile belirlenmiştir. Fenton giderimi için optimum deneysel koşullar $Fe^{3+} = 40$ mg/L, $H_2O_2 = 400$ mg/L ve pH = 3 olarak belirlenmiştir ve 15 dakikalık sürede % 95 KOİ giderimi sağlanmıştır [52].

Diğer bir çalışmada ise, Teodoro ve arkadaşları tarafından (2014), foto-Fenton sistemi ile gri su arıtımı incelenmiştir. $Fe^{2+} = 10$ mg/L, $H_2O_2 = 25$ mg/L ve 150 mg/L olarak dozlanmıştır ve atık suyun orijinal pH'ı ile kıyaslamak için pH 3'e ayarlanmıştır. pH ayarlı sistemler, gri suların dezenfeksiyonunda ve arıtılmasında en etkili sistemdir. Yüksek hidrojen peroksit konsantrasyonunda %100'e yakın giderim verimi elde edilmiştir [53].

Thirugnanasambandham ve Sivakumar (2015) yaptığı çalışmada ise elektro-Fenton (E-Fenton) prosesi ile gri atıksu arıtımı yapılmıştır. Bu araştırmanın amacı, mevcut yoğunluk, H_2O_2 / Fe^{2+} molar oranı, elektrot mesafesi ve KOİ uzaklaştırılması için başlangıç pH ve gri atıksudan toplam askıda katı maddeler (TAKM) gibi e-Fenton işleminde çalışma parametrelerini optimize etmektir. Matematiksel modeller, yüksek katsayı belirleme değerleri ile geliştirilmiştir ve optimizasyon için sayısal optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Akım yoğunluğu 10 mAcm^{-2} , H_2O_2 / Fe^{2+} molar oranı 0,70, 14 dk işlem süresi ve pH 4 gibi optimum koşullar altında KOİ giderimi %90 olarak elde edilmiştir [54].

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

3.1. Numune ve Kullanılan Cihazlar

Gri suyun Fenton ile arıtılabilirliği üzerine yapılan bu çalışmada laboratuvar şartlarında hazırlanmış olan sentetik gri su kullanılmıştır. Gri su herhangi bir ön işlem den geçirilmeden doğrudan kullanılmıştır.

10 L sentetik gri su hazırlamak için gerekli formülasyon Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : 10 L Sentetik Gri Su Formülasyonu [55].

Kullanılan Malzeme	Miktar
Musluk Suyu	9.68 L
Sıvı Yağ	0.1 mL
AAT Çıkış Suyu	24 mL
Sabun (Kati)	6.4 g
Şampuan	8 mL

3.1.1. Kullanılan cihazlar

Çalışma kapsamında kullanılan cihaz ve ekipmanlar aşağıda verilmiştir.

- MTOPS marka mekanik karıştırıcı
- BEL marka analitik terazi
- Hach-Lange multi parametre ölçer
- AKM süzme düzeneği
- MTOPS marka jar testi cihazı
- Ultra saf su cihazı
- Velp marka KOİ yakma ünitesi
- Hack-lange marka Dr 3900 model spektrofotometre,
- Altus marka buz dolabı

3.2. Çözeltilerin Hazırlanması

Çalışma kapsamında kullanılan bütün numune ve çözeltiler aşağıda verilmiştir. Çalışmada kullanılan kimyasallar Merk (Almanya) firmasından temin edilmişlerdir ve analitik saflık derecesindedirler. Deneysel çözeltilerin hazırlanmasında ise ultra saf su kullanılmıştır.

3.3. Analiz Metodları

Fenton prosesinin arıtma verimi üç temel parametreyle kontrol edilmiştir; KOİ ile anyonik ve non-iyonik yüzey aktif maddeler. KOİ ölçümleri standart metodlara göre gerçekleştirilirken; anyonik ve non-İyonik yüzey aktif madde konsantrasyonları ise Hach Lange LCK 332 ve LCK 433 kitleri kullanılarak Hach Lange marka Dr 3900 model spektrofotometre ile ölçümleri yapılmıştır.

KOİ tayini;

KOİ ölçümleri kapalı reflux titrimetrik yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntem de tüplere 2,5 mL numune, 1,5 mL potasyum dikromat çözeltisi ve 3,5 mL sülfürik asit çözeltisi ilave edilip 150 °C'de 120 dakika ısıtılmıştır. 120 dk sonunda ısıtıcıdan alınan numuneler soğumaya bırakılmıştır. Soğutulduktan sonra üzerine 2 damla ferroin indikatörü damlatılarak, demir amonyum sülfat çözeltisi ile titrasyonu gerçekleştirilmiştir. Demir amonyum sülfat çözeltisinin günlük standardizasyonu yapılmıştır.

Kullanılan malzemeler:

- 1- $K_2Cr_2O_7$ Çözeltisi
- 2- Sülfürik Asit Çözeltisi
- 3- DAS
- 4- İndikatör
- 5- Numune

Deneyin yapılışı:

- 1- Numuneden 2,5 mL alınarak KOİ tüpüne ilave edilir,
- 2- 1,5 mL $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi ilave edilir,
- 3- Üzerine 3,5 mL gümüş sülfatlı sülfürik asit çözeltisi ilave edilir,
- 4- Çözeltiler ilave edildikten sonra karıştırılıp 2 saat 150^0 C de KOİ yakma ünitesinde kaynatılır.
- 5- 2 saatlik kaynama periyodu sonunda numune soğumaya bırakılır,
- 6- Soğuduktan Sonra manyetik karıştırıcı üzerine konulan numune içine birkaç damla ferroin indikatörü ilave edildi ve DAS çözeltisi ile indikatörün rengi mavi-yeşil üzerinden kırmızıya dönene kadar titre edildi. DAS çözeltisinin günlük standardizasyonu yapılmıştır.

Standardizasyon: 5 mL standart $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi üzerine 10 mL saf su eklenmiştir. 1 – 2 damla ferroin indikatörü damlatılmıştır. Demir amonyum sülfat (DAS) ile titre edilmiştir ve aşağıdaki formülde molarite hesaplanmıştır.

$$\text{Molaritesi} = \frac{\text{ml } K_2Cr_2O_7 \text{ sarfiyat}}{\text{ml DAS Sarfiyat}} \times 0,1 \quad (3.1)$$

Molarite hesaplandıktan sonra KOİ miktarı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{KOİ } mgO_2 / L = \frac{(A-B) \cdot M \cdot 8000}{V \text{ ml}} \quad (3.2)$$

A = Şahide sarf edilen DAS miktarı

B = Numuneye sarf edilen DAS miktarı

V = Alınan mL numune miktarı

M = Molarite

Yüzey aktif madde tayini:

Anyonik ve non-iyonik yüzey aktif maddelerin tayini için Hach Lange LCK 332 ve LCK 433 kodlu kitleri kullanılarak Hach Lange marka Dr 3900 model spektrofotometre ile sonuçlar okunmuştur.

3.4. Optimizasyon Süreci

Bu çalışmada gri suyun arıtımı için klasik Fenton uygulaması yapılmıştır. Optimizasyon süreci, jar testi cihazında 500 mL hacminde sentetik gri su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gri suların başlangıç pH'larının istenilen asidik koşullara önceden ayarlanması için 0,1 N ve 6 N H₂SO₄ çözeltileri kullanılmıştır. pH istenilen değere ayarlanmasının ardından, belirli dozlarda sırasıyla Fe²⁺ ve H₂O₂ dozlaması yapılmıştır. H₂O₂'nin dozlanmasının ardından 1 saatlik reaksiyon sürecinin başladığı kabul edilmiştir. 1 saatlik reaksiyon süresi boyunca, reaksiyon ortamı 60 rpm'lik sabit hızla karıştırılmıştır. Reaksiyon sürecinin sonunda, ortam pH'ı 0,1 N ve 6 N NaOH çözeltileri ile 7,5 – 8 aralığına ayarlanmış ve karıştırma durdurularak oluşan flokların çökmesi için 30 dakikalık bir süre ile durgun şartlarda bekletilmiştir. Çökme işlemi tamamlandıktan sonra üst duru fazdan 25 mL alınarak beherler içerisinde bulunan 0,1 g MnO₂ ile karıştırılmıştır. Sonra vakum filtre düzeneği ile süzme işlemi gerçekleştirilmiştir. MnO₂ alınan numunelerinin içindeki kalıntı H₂O₂'nin bozundurulması ve KOİ analizlerine pozitif girişiminin engellenmesi için kullanılmıştır. Optimizasyon çalışması yapılan parametreler ise;

- **pH Optimizasyonu:** Farklı başlangıç pH'ları ile 7 numunede çalışılmıştır. Başlangıç pH 'ları 2 – 3 – 4 – 5 – 6 - 7 – 7,4 olarak belirlenmiş olup bu pH'lar da Fe²⁺ = 100 mg/L ve H₂O₂ =100 mg/L sabit konsantrasyonları ile çalışılmıştır.
- **Fe⁺² Optimizasyonu:** Optimum başlangıç pH'ı ham gri suyun pH'ı olan 7,4 olarak belirlenerek sonraki deneyler bu pH'da gerçekleştirilmiştir. Sabit 50 mg/L H₂O₂ konsantrasyonunda deneyler yapılmıştır. 10 – 300 mg/L aralığında 8 farklı dozda Fe²⁺ ilave edilmiştir.

- ***H₂O₂ Optimizasyonu:*** Önceki optimizasyon çalışmasında olduğu gibi pH ham gri suyun pH'ı olan 7,4 ile başlanmıştır. 8 numune için sabit 50 mg/L Fe²⁺ dozlaması ve 10 – 300 mg/L aralığında H₂O₂ dozlaması yapılmıştır.
- ***Kinetik Çalışması:*** Başlangıç pH'ı 7,4 olan ham gri su pH'ı ile başlanmıştır. 500 mL sentetik gri suya 50 mg/L Fe²⁺ ve 50 mg/L H₂O₂ dozlaması yapılmıştır. Sırasıyla 0 – 0,5 – 1 – 2,5 – 5 – 10 – 20 – 30 – 45 ve 60'ıncı dakikalarda numune alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

Yukarıdaki optimizasyon çalışmaları ile klasik Fenton prosesinin gri atıksu içerisinde bulunan oksitlenebilir formdaki materyallerin giderimi için en uygun dozlar tespit edilmiştir. Laboratuvar çalışması boyunca sapma olmaması için gerekli önem ve titizlik gösterilmiş olup en uygun koşullarda çalışılmıştır. Resim 3.1 ve 3.2'te Fenton prosesinin uygulanmasından sonraki görseller sunulmuştur.



Resim 3.1 : Laboratuvar çalışmaları sırasında numunelerin görüntüsü



Resim 3.2 : Analizler öncesinde MnO_2 ilavesi

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde klasik Fenton uygulamasının gri su arıtımı incelenmiş ve elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

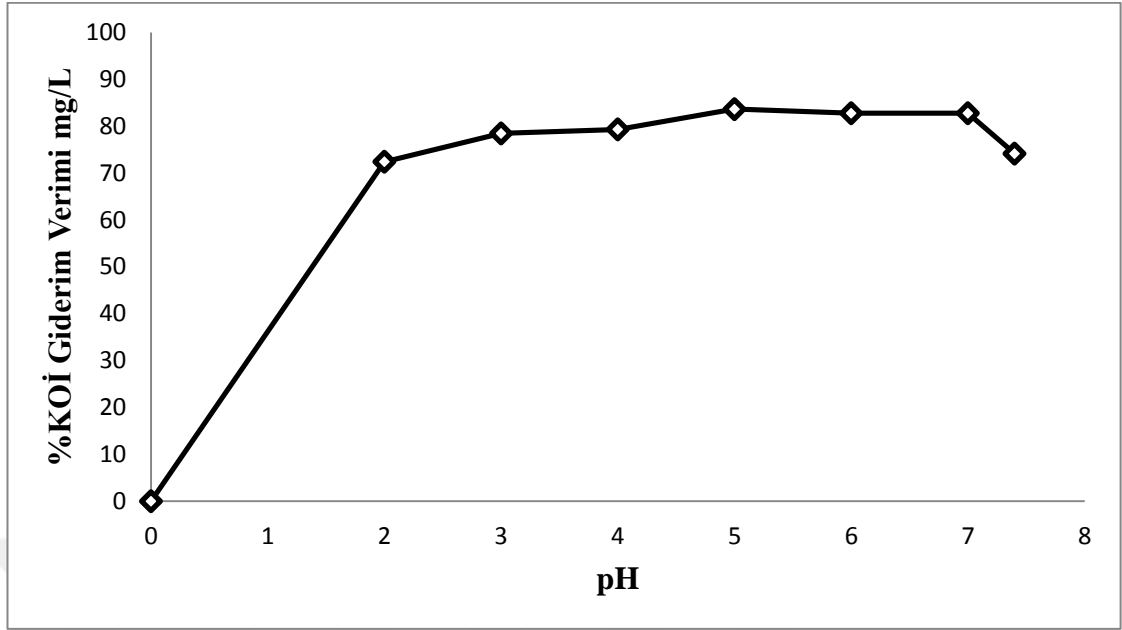
4.1. Klasik Fenton Metodu İle Yapılan Deneysel Çalışma Sonuçları

4.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi

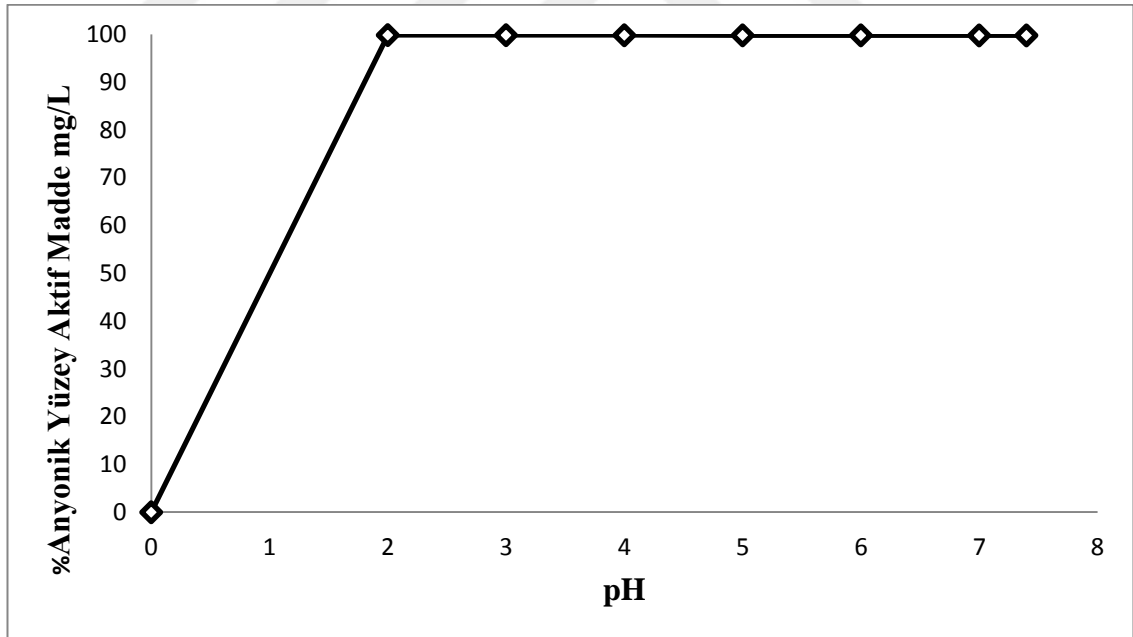
Başlangıç pH'ının Fenton oksidasyonu üzerine etkilerini belirlemek deneyler için pH 2-7,4 aralığında gerçekleştirilmiştir. Gri suların başlangıç pH'ı 0,1 ve 6 N'lik H₂SO₄ ve NaOH çözeltileri ile ayarlanmıştır. Deneysel şartlar ham atık su KOİ 580 mg/L, H₂O₂ 100 mg/L, Fe²⁺ 100 mg/L, reaksiyon süresi 60 dk olarak belirlenmiştir. Başlangıç pH'ının etkilerinin araştırıldığı ilk aşamada, Fenton sürecinin sonunda arıtılmış gri suda KOİ, anyonik ve non-iyonik yüzey aktif madde tayinleri yapılmış ve giderim verimleri Çizelge 4.1 ile Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.1: pH değerinin Fenton prosesi ile gri suyun arıtımına etkisi

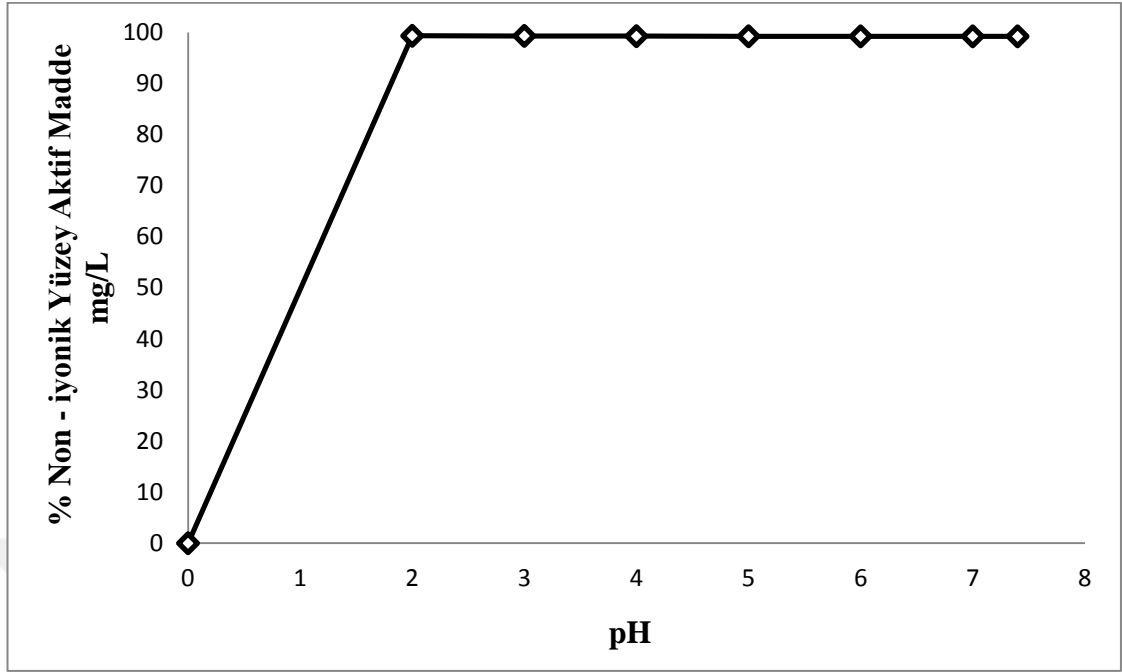
Başlangıç pH'ı	Fe ²⁺ (mg/L)	H ₂ O ₂ (mg/L)	Süre (dk)	Son pH	Kalan KOİ (mg/L)	%KOİ Giderim
2	100	100	60	2,5	160	72,41
3	100	100	60	2,5	125	78,45
4	100	100	60	2,5	120	79,31
5	100	100	60	3	95	83,62
6	100	100	60	3	100	82,76
7	100	100	60	3,5	100	82,76
7,4	100	100	60	7	150	74,14



Şekil 4.1: Başlangıç pH değerinin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Deney koşulları: $H_2O_2=100$ mg/L, $Fe^{2+}=100$ mg/L, reaksiyon süresi 60 dakika).



Şekil 4.2 : Başlangıç pH değerinin anyonik yüzey aktif madde giderim verimi üzerine etkisi (Deney koşulları: $H_2O_2=100$ mg/L, $Fe^{2+}=100$ mg/L, reaksiyon süresi 60 dakika).

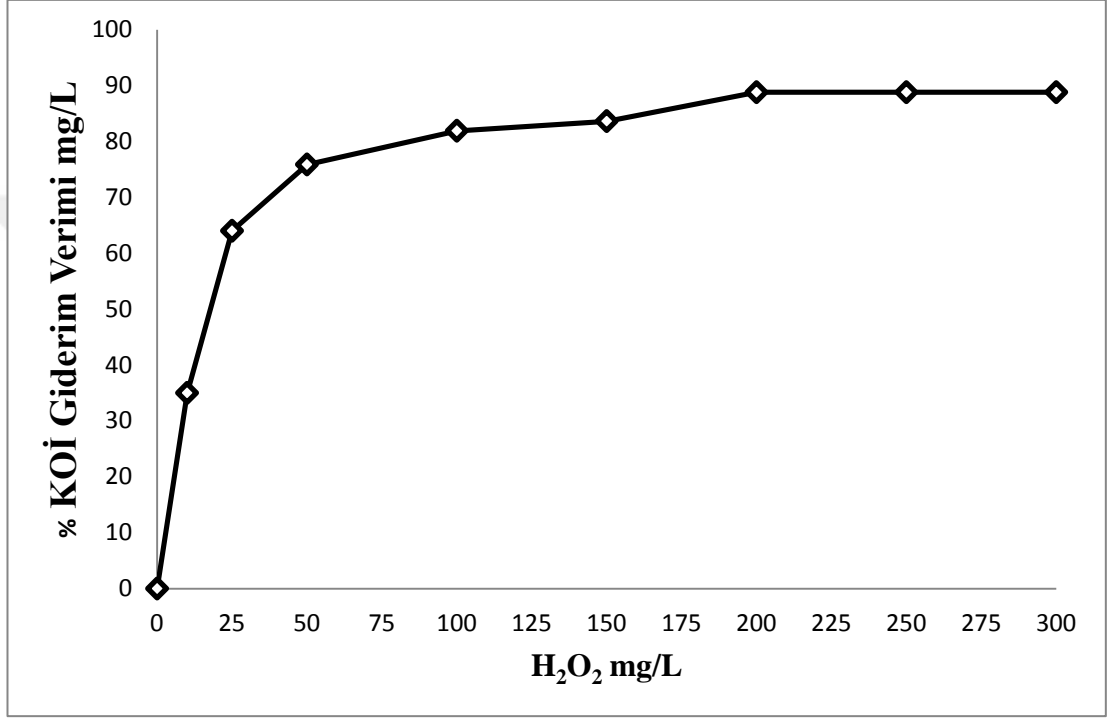


Şekil 4.3: Başlangıç pH değerinin non - iyonik yüzey aktif madde giderim verimi üzerine etkisi (Deney koşulları: $H_2O_2=100$ mg/L, $Fe^{2+}=100$ mg/L, reaksiyon süresi 60 dakika).

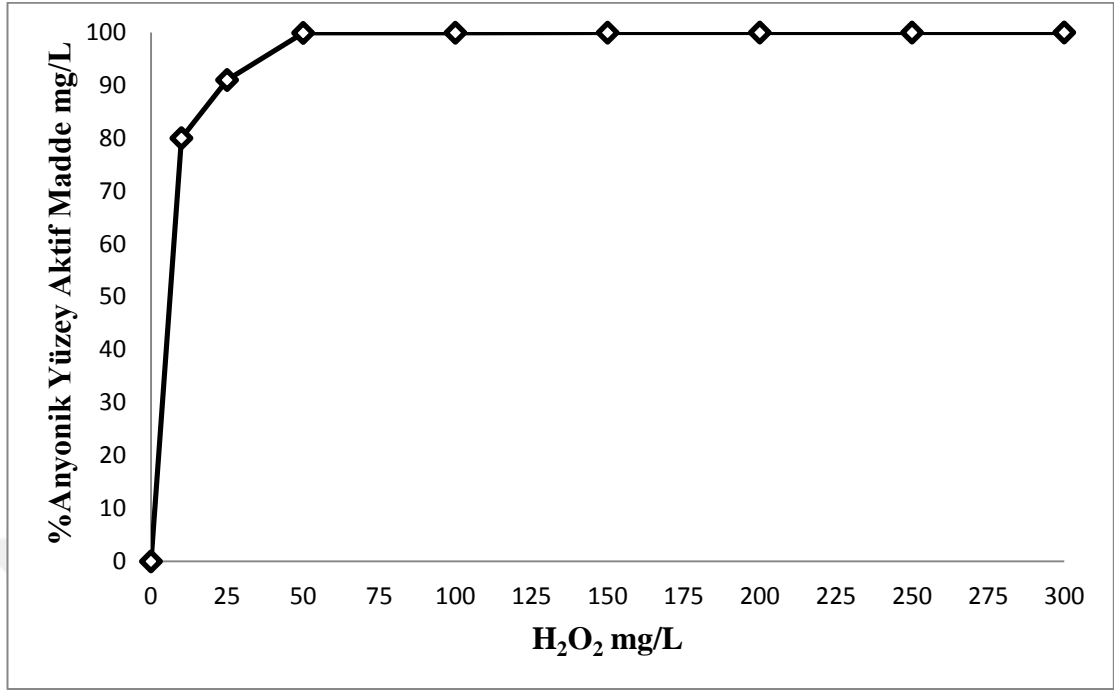
Deneysel çalışma sonuçlarına göre, anyonik ve non – iyonik yüzey aktif madde için maksimum giderim pH 2’de gerçekleşmiştir. Maksimum KOİ giderimi ise pH 5’te elde edilmiştir. Başlangıç pH’ının 2 – 7 aralığında gerçekleştirildiği deneylerde, 1 saatlik oksidasyonu süresinin sonundaki nihai pH değerlerinin 2,5 – 3,5 aralığında olduğu görülmüştür. Bu durum Fenton reaksiyonlarının doğasından kaynaklanmıştır. Çünkü yeterli alkaniteyi içermeyen atıksularda Fenton prosesi ürettiği H^+ iyonları ile pH’ı önemli derece düşürebilmektedir. Gri atıksuyun orijinal pH değeri olan 7,4 değerinde ise nihai pH önemli derecede değişmemiştir. Ancak başlangıç pH’ının KOİ, anyonik ve non-iyonik yüzey aktif maddelerin giderimin de kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Optimum pH ise gri suyun orijinal pH değeri olan 7,4 olarak belirlenmiştir, sırasıyla %74, %99,7 ve %99,2 giderim verimi elde edilmiştir.

4.1.2. Hidrojen peroksit konsantrasyonunun etkisi

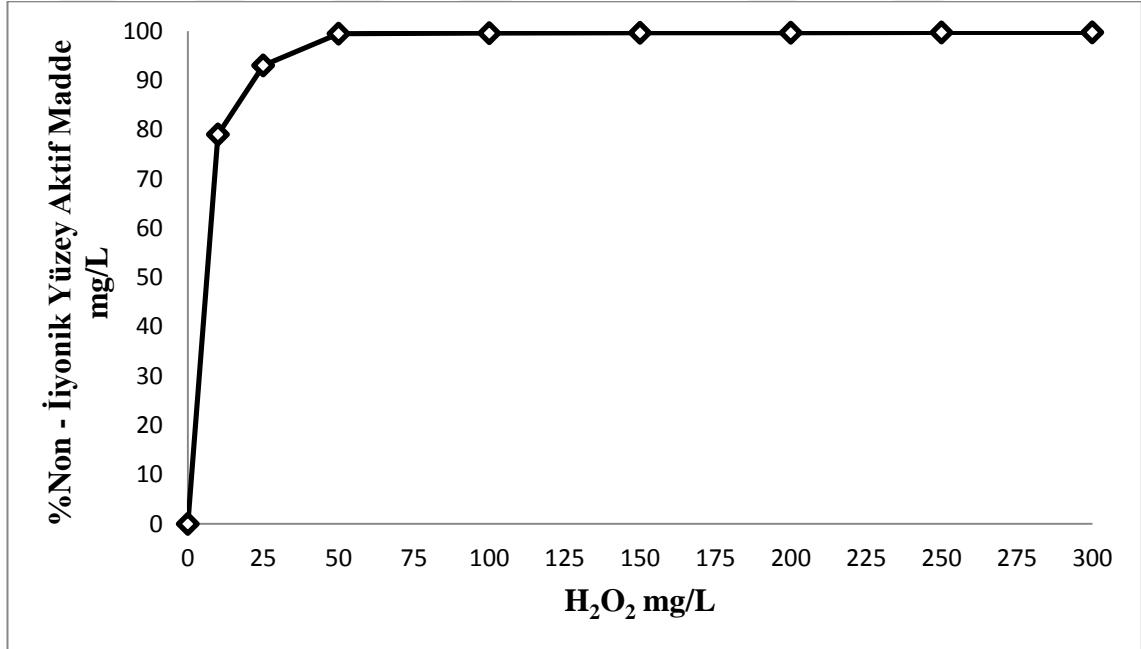
H₂O₂ dozunun Fenton oksidasyonu üzerindeki etkilerini görmek amacıyla, 10-300 mg/L aralığında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel şartlar pH 7,4, Fe²⁺ 50 mg/L, reaksiyon süresi 60 dk olarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6 'da verilmiştir. Deneylein yapıılışı ise Resim 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: H₂O₂'nin KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Deney koşulları: pH= 7,4, Fe²⁺ = 50 mg/L, reaksiyon süresi 60 dakika).



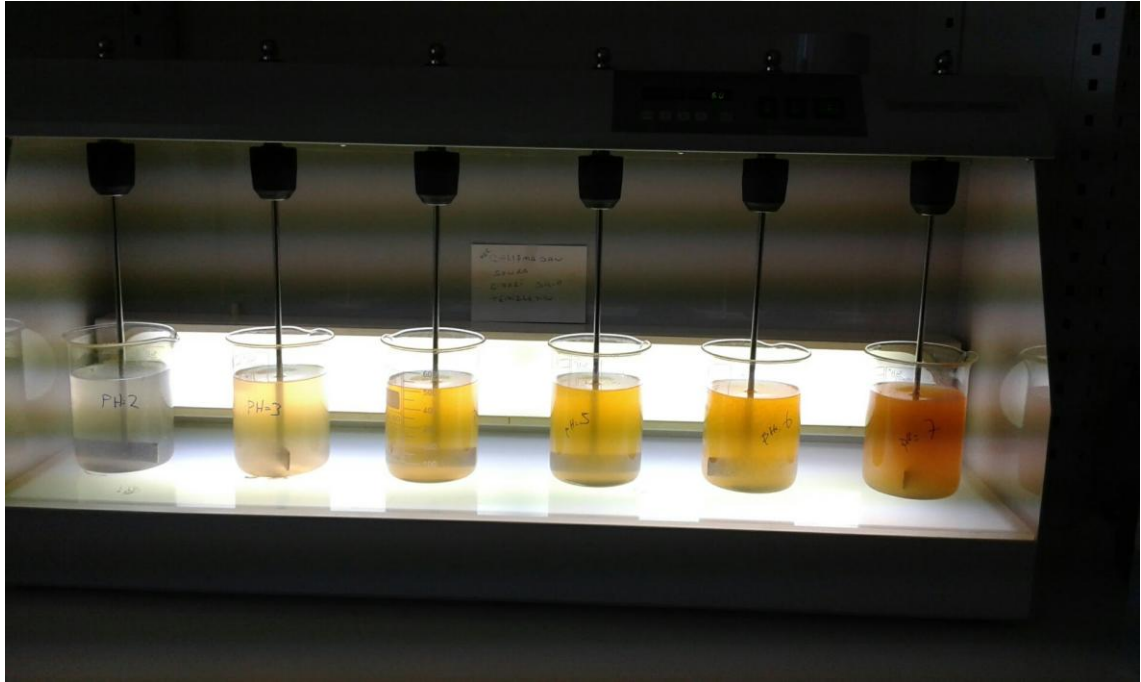
Şekil 4.5: H₂O₂'nin anyonik yüzey aktif madde giderimi üzerine etkisi (Deney koşulları: pH= 7,4, Fe²⁺ = 50 mg/L, reaksiyon süresi 60 dakika).



Şekil 4.6: H₂O₂'nin non-iyonik yüzey aktif madde giderimi üzerine etkisi (Deney koşulları: pH= 7,4, Fe²⁺=50 mg/L, reaksiyon süresi 60 dakika).

Hidrojen peroksit, Fenton prosesinde üretilen OH[•] radikalinin esas kaynağıdır. Ancak oksidasyon ortamında fazla miktarda olması, üretilen OH[•] radikali üzerinde radikal süpürücü etki yapabilmektedir. Ayrıca aşırı miktarda kullanılması arıtma maliyetini de arttırmaktadır. Bu nedenle optimizasyonunun yapılması önemlidir.

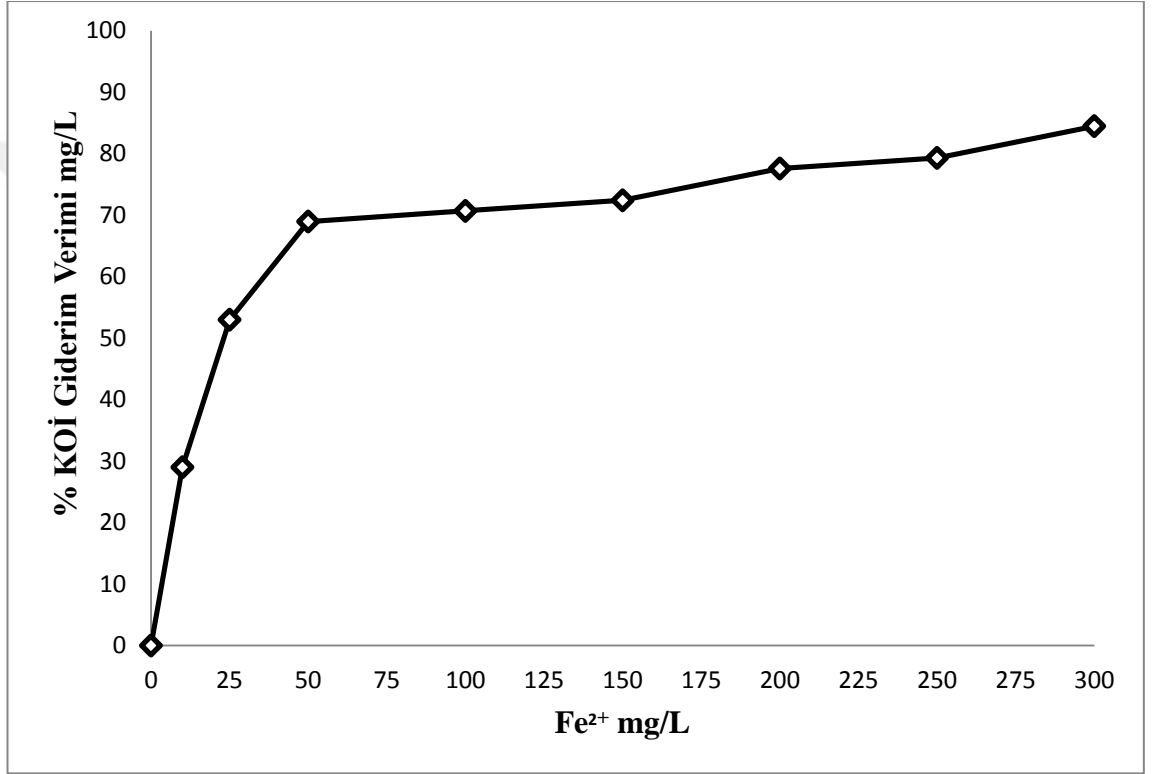
Eşitlik 2.1’de verilen reaksiyona göre, artan H₂O₂ dozu ile üretilen OH[•] radikalinin miktarı artacaktır. Bu nedenle, Şekil 4.4 – 4.6’den da anlaşılacağı gibi, artan H₂O₂ dozu ile verim artmıştır. Ancak KOİ, anyonik ve non-iyonik yüzey aktif maddeler birlikte değerlendirildiğinde, 50 mg/L dozunun üzerinde giderim verimlerinde kayda değer bir artış olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, 50 mg/L H₂O₂ dozu, optimum olarak belirlenmiştir ve sırasıyla %75,86 , %99,9 ve %99,45 giderim verimi elde edilmiştir.



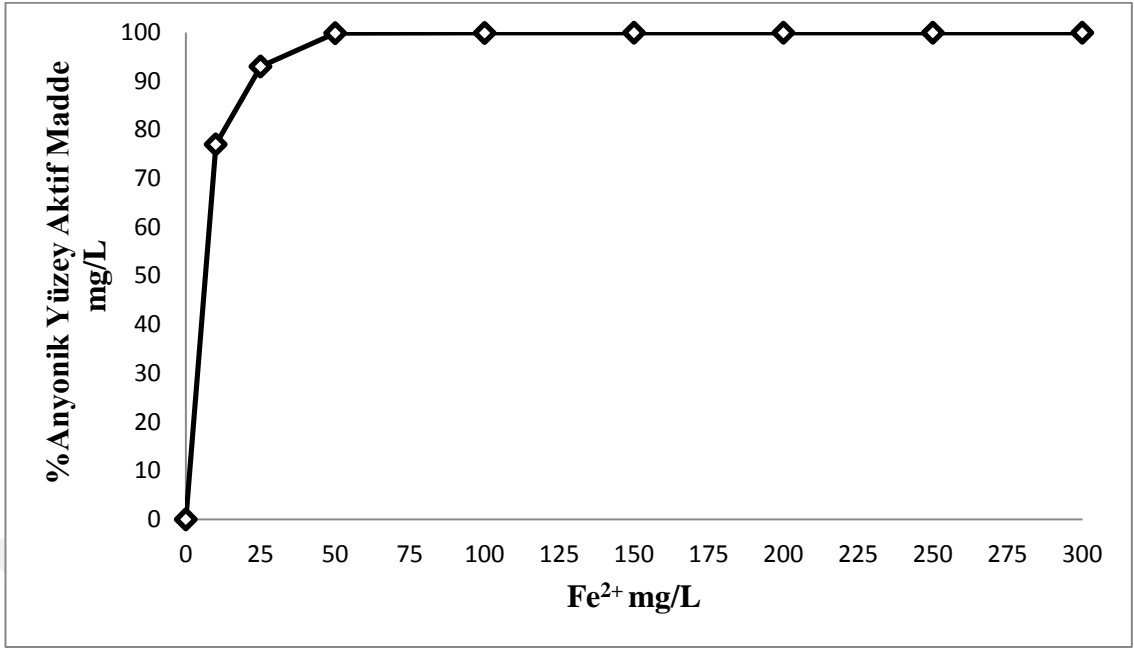
Resim 4.1: Hidrojen peroksit ilavesi ile Jar testi.

4.1.3. Ferro demir konsantrasyonunun etkisi

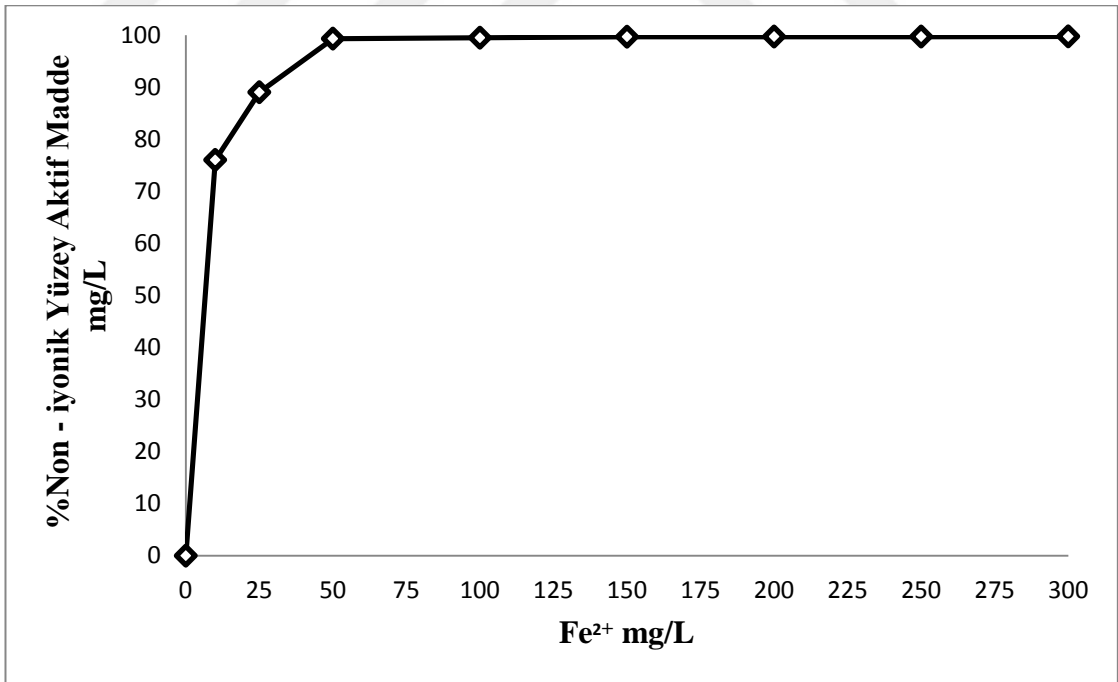
Fe^{2+} dozunun Fenton reaksiyonu üzerindeki etkilerini görmek amacıyla, Fe^{2+} 'nin 10-300 mg/L arasındaki değerlerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel şartlar pH 7,4, H_2O_2 50 mg/L, reaksiyon suresi 60 dk olarak belirlenmiştir. Anyonik yuzey aktif madde, non - iyonik yuzey aktif madde ve KOİ değerleri tayin edilmiş olup grafik sonuçları şekil 4.7, 4.8 ve 4.9' da verilmiştir.



şekil 4.7: Ferro Demir Dozunun KOİ giderim verimi üzerine etkisi (Deney koşulları: pH= 7,4, H_2O_2 = 50 mg/L, reaksiyon suresi 60 dakika).



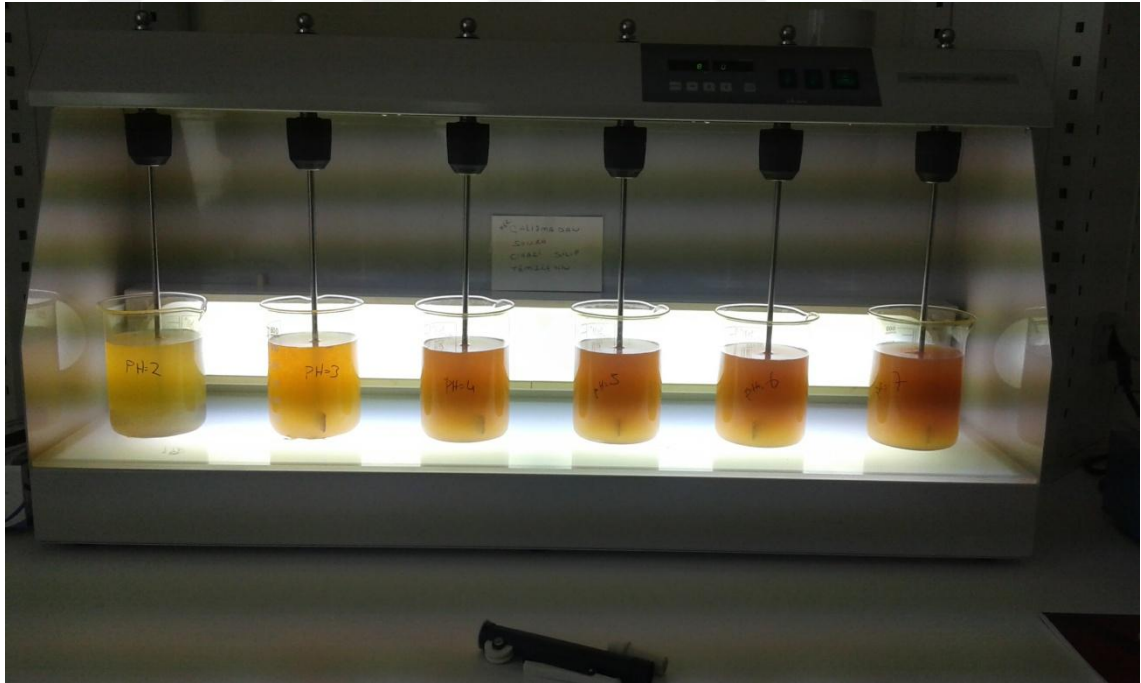
Şekil 4.8 : Ferro Demir Dozunun anyonik yüzey aktif madde giderimi üzerine etkisi (Deney koşulları: pH= 7,4, H₂O₂ = 50 mg/L, reaksiyon süresi 60 dakika).



Şekil 4.9 : Ferro Demir Dozunun non - iyonik yüzey aktif madde giderimi üzerine etkisi (Deney koşulları: pH= 7,4, H₂O₂ = 50 mg/L, reaksiyon süresi 60 dakika).

Reaksiyon ortamında ferro demir iyonu olmadığında hidroksil radikalleri üretilmemektedir, dolayısıyla verimli bir oksidasyon sağlanamamaktadır (Eşitlik 2.1). Ancak demir dozunun fazla olması, daha fazla inert kimyasal çamur oluşumuna neden olmaktadır. Bu da çamur bertaraf maliyetini, yani kümülatif arıtma maliyetini arttıracaktır. Ayrıca oksidasyonu ortamındaki fazla ferro demir, üretilen OH^\bullet radikallerinin ortamdaki süpürülmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, ferro demir dozunun optimizasyonu önemlidir. Resim 4.2’ de ferro demir dozunun optimizasyon çalışması verilmiştir.

Eşitlik 2.1’de verilen Fenton reaksiyonunun denklemine göre, ferro demir iyonunun artan dozu, kirlenmiş giderim verimlerini sürekli olarak arttırmıştır. Ancak optimum anyonik yüzey aktif madde, non – iyonik yüzey aktif madde ve KOİ giderim verimi 50 mg/L’de elde edilmiştir. 50 mg/L optimum değer olarak belirlenmiştir ve sırasıyla %99,8, %99,2 ve %69 giderim verimi elde edildiği belirlenmiştir.

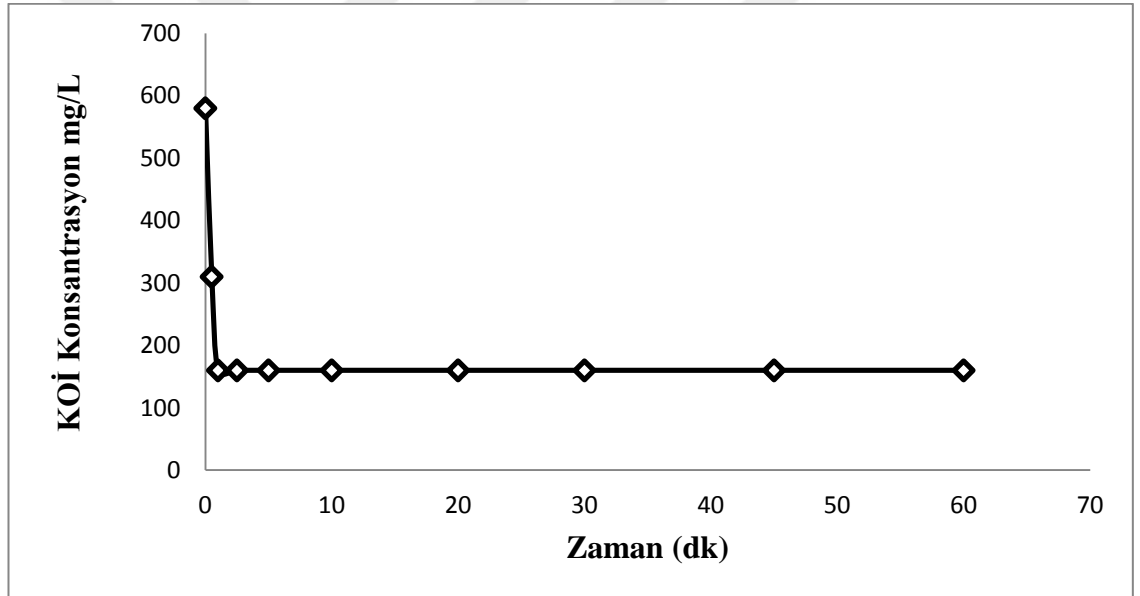


Resim 4.2: Ferro demir dozunun optimizasyon çalışması

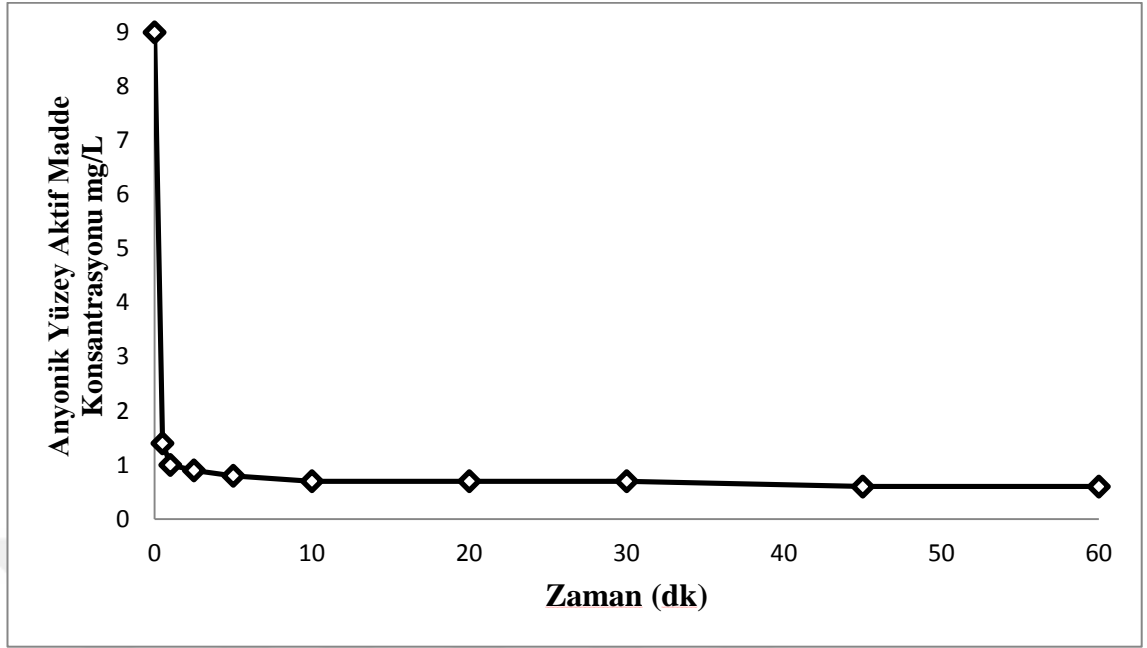
BÖLÜM 5

KİNETİK ÇALIŞMA

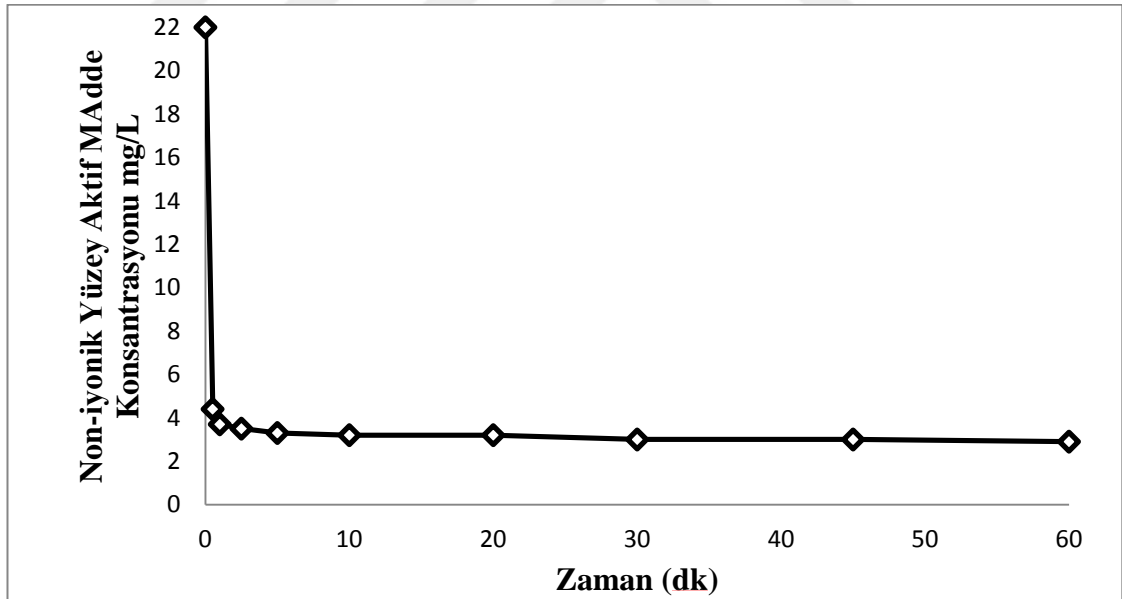
Kinetik çalışma anyonik yüzey aktif madde, non - iyonik yüzey aktif madde ve KOİ parametreleri esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Başlangıç pH'ı 7,4 olan 500 mL sentetik atıksuya 50 mg/L Fe^{2+} ve 50 mg/L H_2O_2 dozlaması yapılmıştır. Sırasıyla 0 – 0,5 – 1 – 2,5 – 5 – 10 – 20 – 30 – 45 ve 60'ıncı dakikalarda numune alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3' de zamana bağlı KOİ, anyonik yüzey aktif madde ve non – iyonik yüzey aktif madde konsantrasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 5.1 : Zamana bağlı KOİ konsantrasyon grafiği



Şekil 5.2 : Zamana bağlı anyonik yüzey aktif madde konsantrasyon grafiği



Şekil 5.3 : Zamana bağlı non - iyonik yüzey aktif madde konsantrasyon grafiği

Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3 incelendiğinde, anyonik yüzey aktif madde, non-iyonik yüzey aktif madde ve KOİ' nin konsantrasyonunun ilk 0,5 dakika da hızlı bir şekilde azaldığı, yani reaksiyon hızının yüksek olduğu görülmektedir. Buna karşın, 1. dakikadan itibaren konsantrasyonlardaki değişim son derece azdır. Bu da, zamanla parçalanma hızının yavaşladığını göstermektedir. .

Optimum dozların belirlenmesinin ardından 0 – 60 dakika arasında kinetik çalışma uygulanmıştır. 0., 1. ve 2. derece kinetik regradasyon katsayıları Çizelge 5.2’ de verilmiştir. Bu model yöntem için çok verimli bir sonuç elde edilmemiştir.

Reaksiyon Kinetiği: Reaksiyon hızı (düzeyi) ile ilgili bilgileri kapsamaktadır. Reaksiyon hızını etkileyen birçok parametre vardır. Reaktif maddenin konsantrasyonu reaksiyon hızını etkileyen parametrelerin başında yer almaktadır.

$$\text{Reaksiyon hızı} = (\text{Konsantrasyon})^n$$

$$\text{Log (hız)} = n \text{ log (Konsantrasyon)}$$

$$R = dC / dt = k.C^n \quad (5.1)$$

Reaksiyon Derecesi: Bir reaktif maddenin mol sayısında (miktarda) birim zamanda ve birim hacimde (birim alanda) meydana gelen değişiktir [56].

Reaksiyonlar 0., 1. ve 2. derece olmak üzere üç düzeyde gerçekleşebilmektedir. Bu üç reaksiyonun dışında ara dereceli reaksiyonlar da vardır. Fakat bu tür reaksiyonlar çok yaygın görülmemektedir [22]. Çizelge 5.1’da reaksiyon dereceleri ve reaksiyon eşitliği verilmiştir.

Çizelge 5.1: Reaksiyon Dereceleri ve Reaksiyon Eşitlikleri

Reaksiyon Derecesi	Reaksiyon Eşitliği	İntegrasyon Sonucu Reaksiyon Eşitliği
0.	$r = dC/dt = k$	$C - C_0 = - k.t$
1.	$r = dC/dt = kC$	$\text{Ln} (C / C_0) = kt$
2.	$r = dC/dt = kC^2$	$(1/C) - (1/ C_0) = kt$

r : Reaksiyon düzeyi

C : Konsantrasyon

C₀ : Başlangıç Konsantrasyonu

t : Zaman

k : Hız sabiti (1/ zaman) [22]

Çizelge 5.2: Sıfır, bir ve ikinci dereceden kinetik hız sabitleri için regrasyon katsayıları (R^2).

Parametre	0. Derece	1. Derece	2. Derece
KOİ	0,4245	0,4646	0,4853
Anyonik Yüzey Aktif Madde	0,0915	0,2572	0,5196
Non-iyonik Yüzey Aktif Madde	0,1152	0,1841	0,319

Çizelge 6’de gösterildiği gibi kinetik hız sabitleri için regrasyon değerlerinin oldukça düşük olduğu ve bu kinetik modellerle açıklanamayacağı görülmüştür. Bu nedenle Behnajady ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş olan matematiksel kinetik model kullanılmıştır. Kinetik denklem ise,

$$\frac{c}{c_0} = 1 - \left(\frac{t}{m+b*t} \right) \quad (5.2)$$

$$\frac{t}{1-(C/C_0)} = m + b * t \quad (5.3)$$

Burada,

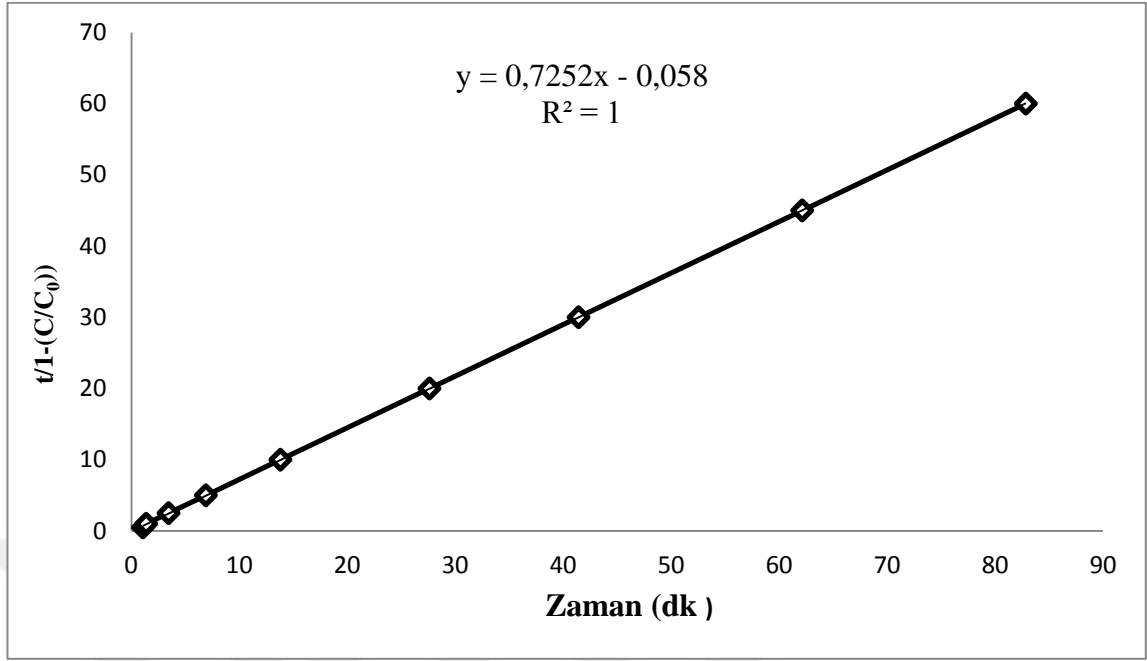
C_0 (mg/L) : Kirletici parametrenin başlangıç konsantrasyonu

C (mg/L) : Parametrenin t anındaki konsantrasyonu

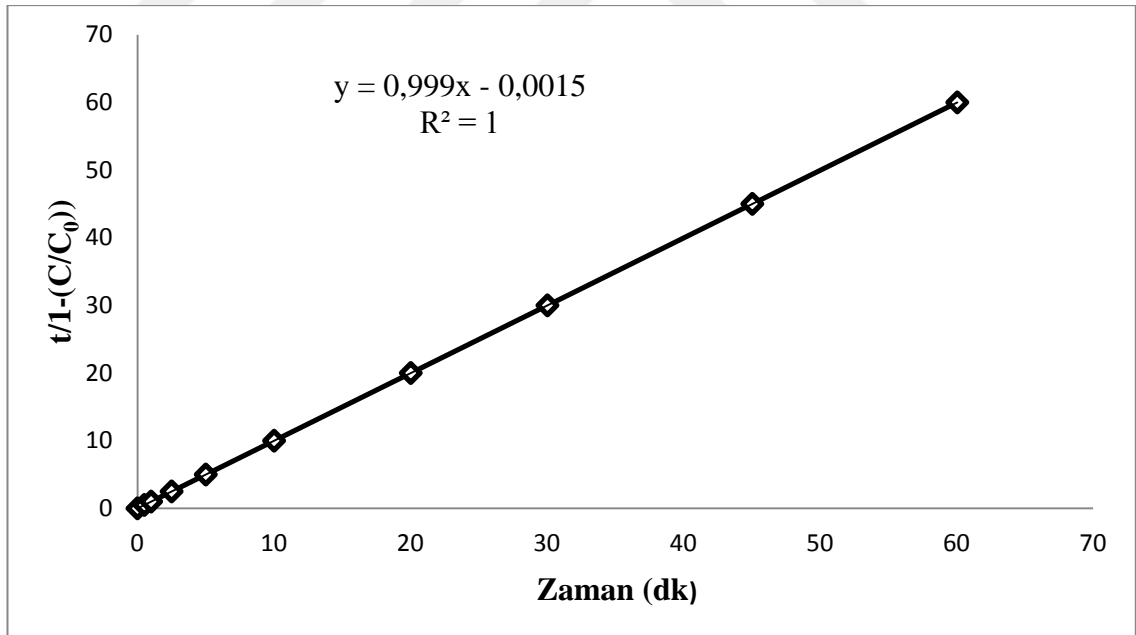
b : Kinetik modelin reaksiyon kinetiği

m : Proseslerin oksidasyon kapasitesi [57].

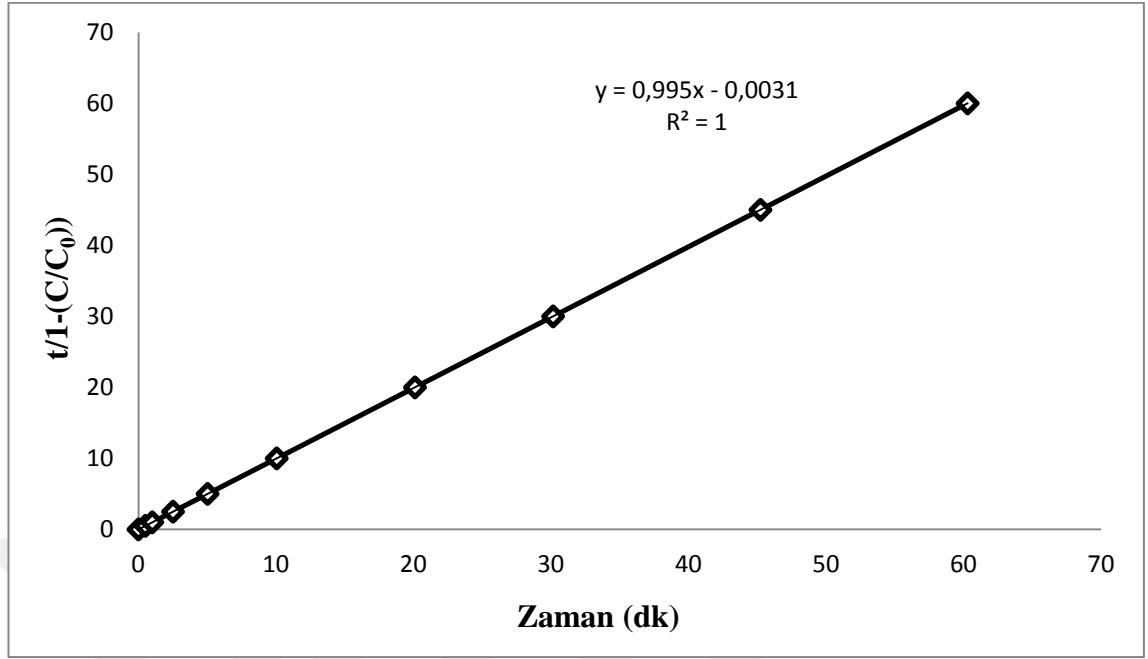
Matematiksel model sonuçları Çizelge 5.3, Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6’ da verilmiştir.



Şekil 5.4: Fenton prosesi ile KOİ giderimine ait matematiksel modelin grafiği.



Şekil 5.5: Fenton prosesi ile Anyonik yüzey aktif madde giderimine ait matematiksel modelin grafiği



Şekil 5.6: Fenton prosesi ile non-iyonik yüzey aktif madde giderimine ait matematiksel modelin grafiği

Çizelge 5.3: Matematiksel modelin belirlenmesi ve karakteristik sabitlerinin katsayıları [57]

Parametre	b	m	R ²
KOİ	0,7252	0,058	1
Anyonik Yüzey Aktif Madde	0,999	0,0015	1
Non – iyonik Yüzey Aktif Madde	0,995	0,0031	1

Şekil 5.4, 5.5, 5.6 ve Çizelge 5.3' de görüldüğü üzere matematiksel modelin yöntemi oldukça uygundur. Bu verilere bakıldığında ileri seviyede oksidasyonun sağlandığı görülmektedir. Ayrıca matematiksel yöntemin kinetik modele uygun olduğu yüksek korelasyon katsayıları (R²) ile belirlenmiştir.

BÖLÜM 6

TARTIŞMA SONUÇ

Canlıların en temel ihtiyaçlarının başında gelen su, bilinçsiz tüketim, artan nüfus, gelişen endüstri ve iklimsel değişiklikler gibi nedenlerden dolayı giderek azalmaktadır. Bu şartlar doğrultusunda çoğu ülke su fakiri haline gelmektedir ve kullanılabilir su kaynakları hızla tükenmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının korunması, yeniden kullanımı ve sürdürülebilirlik kavramı oldukça önemli bir husustur. Özellikle son zamanlarda evsel atıksuların kirletici olmayıp doğru arıtım ile tekrar kullanılabilir bir atık kaynağı olduğu öngörülmektedir. Gri suyun kirlilik yükünün düşük olması arıtımlarını daha kolay kılmaktadır. Gri suyun yeniden kullanımı, su rezervlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmada, Fenton prosesi ile gri su arıtımı için, kimyasal oksijen ihtiyacı, anyonik yüzey aktif maddeler ve non-iyonik maddeler hedef kirleticiler olarak seçilmiştir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen analizlerde pH, ferro demir ve hidrojen peroksit etkisi değerlendirilmiştir. Fenton prosesi, kullanılan kimyasalların kolayca temin edilebilmesi, düşük yatırım maliyeti, yüksek oranda verimlilik sağlaması gibi avantajlardan ve gri suyun kirlilik yükünün düşük olmasından dolayı cazip hale gelmektedir.

Çalışmanın optimum koşulları şöyledir. İlk aşamada pH için optimum değer 7,4 olarak seçilmiştir. pH etkisinin kimyasal oksijen ihtiyacı, anyonik yüzey aktif maddeler ve non-iyonik yüzey aktif maddeler için giderim verimi sırasıyla %74, %99,7 ve %99,2 olarak bulunmuştur. Daha sonra Fe²⁺ konsantrasyon çalışmalarında optimum doz 50 mg/L olarak belirlenmiştir. Belirlenen optimum dozda kimyasal oksijen ihtiyacı giderimi %69, anyonik yüzey aktif maddeler için giderim %99,8 ve non-iyonik yüzey aktif maddeler için giderim verimi %99,3 olarak bulunmuştur. Diğer bir parametre olan H₂O₂ etkisi için, konsantrasyon çalışmaları sonucunda 50 mg/L optimum doz olarak belirlenmiştir. Optimum dozda, kimyasal oksijen ihtiyacı, anyonik yüzey aktif maddeler ve non-iyonik yüzey aktif maddeler için giderim verimi sırasıyla %75, %99,9 ve %99,45 olarak bulunmuştur.

Gri suda 3 parametre incelenmiştir. KOİ, anyonik ve non – iyonik yüzey aktif madde, ama optimizasyonlarda anyonik ve non – iyonik yüzey aktif madde çok yüksek verimde giderildiği için parametrelerin optimizasyonu KOİ baz alınarak gerçekleştirilmiştir.

Belirlenen optimum şartlar doğrultusunda kinetik çalışma yapılmıştır. Kinetik çalışma sonucunda modelin doğruluğu analiz edilmiştir.

Dünyanın pek çok ülkesinde gri su, sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde gri suyun sulama suyu olarak kullanılmasına yönelik özel bir standart bulunmamaktadır. Sulama suyu için gerekli olan standartlar DIN 19650 tarafından düzenlenmiştir. Bu kalite şartları bahçecilik, tarım, kirlik alanların yani sıra parklar ve spor tesislerinde kullanılan suların hijyenik ve mikrobiyolojik yönleriyle ilgilidir. DIN 19650 esas alınarak belirlenmiş gereksinimlere göre birçok sulama ve uygulama amaçlı kullanılan suyun kalite gereksinimleri tuvalet için kullanılan sudan daha yüksektir. Gri suyun işlenebilmesi ve sulama suyu olarak kullanılabilmesi için uygun teknoloji gerekir. DIN 19650 e göre bu standartlar UV veya kimyasal eklenerek yapılan dezenfektasyonlarla elde edilemez [10]. Bu yüzden arıtılan gri su sulama suyu standartlarını sağlamamaktadır.

Tüm bu analiz çalışmalarının sonucunda, Fenton prosesi ile gri su arıtmı öngörüldüğü şekilde sonuçlanmıştır. Düşük maliyet, yüksek giderim ile sonuçlanan bu çalışma gri suyun yeniden kullanılabilirliği için büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Urkiaga, A., De las Fuentes, L., Bis, B., Chiru, E., Balasz, B., Hernández, F. “Development of analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse”. *Desalination*, 218(1-3), s. 81-91, 2008.
2. Takashi, A. “Water from Wastewater the dependable Water Resource”. *Water Sci Technol*, 45 (8), s. 23-33, 2002.
3. Aküzüm, T., Çakmak, B., & Gökalp, Z. “Dünyada su ve yaklaşan su krizi”, 2. *Ulusal Sulama Kongresi, Bildiriler Kitabı* , Aydın, 2003.
4. Samsunlu, A.,. “*Atıksuların Arıtılması*,” İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 647,2006
5. Çamurcu, Hayri, Sosyal Bilimler Dergisi, 8.(13), s. 87-105, 2005.
6. Postel, S., Sözer, F. Ş. Son vaha: su sıkıntısıyla karşı karşıya. *TÜBİTAK-TEMA Vakfı Yayınları*, 2000.
7. Kütük, D.,. “Binalarda Gri Su Arıtılması, *Fen Bilimleri Enstitüsü*,” *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi*,, Adana,2017
8. Shiklomanov, I. A. “Appraisal and assessment of world water resources”. *Water international*, 25(1), s. 11-32, 2000.
9. Arlosoroff, S.,. “Water Demand Management, *Proceedings of the International Symposium on Efficient Water Use in Urban Areas - Innovative Ways of Finding Water for Cities*”, WHO Kobe Centre Conference Room, 1999,
10. Karahan, A., “Gri suyun değerlendirilmesi. *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*”, s. 1155-1164, 2011.
11. Beler Baykal, B., Allar, A. D. ECOSAN: Ekolojik evsel atıksu yönetimi. *İTÜ Dergisi/e*, 17(3), 2010.

12. Mustow, S.R., Smerdon, T., Pinney, C., Wagget, R. “*Water Conservation-Implications of Using Recycled Greywater and Stored Rainwater in the UK.*” Final report 13 134/l, “Building Services Research and Information Association for U.K. Drinking Water Inspectorate” tarafından hazırlanmıştır, 1997.
13. Al- Al-Jayyousi, O. R. “Greywater reuse: towards sustainable water management”. *Desalination*, 156(1-3), s. 181-192, 2003.
14. Yalçınalp, E., Öztürk, A., Bayrak, D., Konut ölçeğinde gri su ve yeşil çatı sistemlerinin ekonomik etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(1), s. 71-80, 2018.
15. Kutlu, S., Şentürk, İ., Büyükgüngör, H., Alanya İlçesinde Seçilen Pilot Bölge İçin Gri Su Potansiyelinin Belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), s. 580-589, 2017.
16. Üstün, G., Tırpancı, A., Gri suyun arıtımı ve yeniden kullanımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(2), s. 119-139, 2015.
17. Gliick, P. H. The Changing Water Paradigm, A Look at Twenty-First Century Water Resource Development. *Water International*, 25(1), s. 127-138, 2000.
18. Beler Baykal, B., Kasım, “*İTÜ Dergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü,*” s.6, Cilt:17, Sayı:3, 3-12, 2007.
19. Boyjoo, Y., Pareek, V. K., & Ang, M., “A review of greywater characteristics and treatment processes”. *Water Science and Technology*, 67(7), s. 1403-1424, 2013.
20. Morel, A., *Greywater management in low and middle-income countries.* Dubenforf, CH: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2006.
21. Beler Baykal, B., “Atıksuların Akımlarına Ayrılması Ve Gri Su Geri Kazanımı”, *Turizmde Atıksu Yönetimi Eğitimi*, s.107, Kocaeli, 2014.

22. Metcalf & Eddy , “Wastewater Engineering, Treatment Disposal, Reuse,” McGraw - Hill, s.588 (3rdedt.), 1991.
23. Özcan, E., “Türkiye’de atık su yönetimi”, *Turizmde Atıksu Yönetimi Eğitimi*, s.27, Kocaeli, 2014.
24. Tanık, A., Öztürk, İ. ve Cüceloğlu, G., “Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri (El Kitabı)”, ISBN: 978-605- 9186-14-8, Ankara, s. 131, 2016.
25. Winward, G. P., Avery, L. M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T.,. “A study of the microbial quality of greywater and an evaluation of treatment technologies for reuse.” *Ecological Engineering*, 32(2), s. 187–197, 2008.
26. Christova-Boal, D., Eden, R. E., McFarlane, S., “An investigation into greywater reuse for urban residential properties.” *Desalination*, 106(1-3), s. 391-397, 1996.
27. Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H., Mara, D.D. “Sanitation and disease. Health aspects of excreta and wastewater management”, The World Bank, s. 16-21, 1983.
28. Aksan, E., Ceyhun, Haziran 28, *Aktüel*, s. 1-6, 2017
29. Aydın, A. F. “Afyon alkaloidleri endüstrisi atıksularının biyolojik prosesler ve fenton oksidasyonu ile arıtım, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*”, *Doktora Tezi*, 2001.
30. Gülkaya, İ., Sürücü, G., Dilek, F. B. “Halı Fabrikası Boyalı Atıksularının Fenton Oksidasyonu ile Arıtımı.” *1. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, s4-6, 2000.
31. Şahinkaya, S., “Emaye Kaplama Endüstrisi Atıksularının Klasik Ve Modifiye Fenton Prosesleri İle Arıtımı.”, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1), s. 30-38, 2017.

32. Ozdemir, C., Sahinkaya, S., Onucyildiz, M., "Treatment of pesticide wastewater by physicochemical and Fenton processes", *Asian Journal of Chemistry*, 20(5), s. 3795- 3804, 2008.
33. Neyens, E., Baeyens, J., "A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique." *Journal of Hazardous materials*, 98(1-3), s. 33-50, 2003.
34. Kang, Y. W., & Hwang, K. Y. (2000). Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. *Water research*, 34(10), s. 2786-2790.
35. Walling, C., Kato, S., "Oxidation of alcohols by Fenton's reagent. Effect of copper ion", *Journal of the American Chemical Society*, 93(17), s. 4275-4281, 1971.
36. Chamarro, E., Marco, A., & Esplugas, S., "Use of Fenton reagent to improve organic chemical biodegradability.", *Water research*, 35(4), s. 1047-1051, 2001.
37. Kuo, W. G., "Decolorizing dye wastewater with Fenton's reagent." *Water Research*, 26(7), s. 881-886, 1992.
38. Özcan, A. "Organik Kirletici İçeren Atıksuların Elektro-Fenton Yöntemiyle Arıtılması, *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,*" *Doktora Tezi*, Eskişehir, 2010.
39. Öztürk, B., "Fenton ve Fotofenton Proseslerinin Kombine Atıksu Arıtma Tesisi Atıksularına Uygulanabilirliği *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı,*" *Y.Lisans Tezi*, Kocaeli. 2007.
40. Kocaer, F. O., Alkan, U., "Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri." *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7, s. 47-55, 2002.
41. Duman, E., "İlaç Endüstrisi Atıksularının Fenton Oksidasyonu İle Arıtılabilirliğinin Araştırılması. *Hacettepe Üniversitesi Çevre Müh. ABD,*" *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara, 2006.

42. Gogate, P. R., Pandit, A. B., "A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods." *Advances in Environmental Research*, 8(3-4), s. 553-597, 2004.
43. Venkatadri, R., Peters, R. W., "Chemical oxidation technologies: ultraviolet light/hydrogen peroxide, Fenton's reagent, and titanium dioxide-assisted photocatalysis." *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, 10(2), s. 107-149, 1993.
44. Tang, W. Z., Huang, C. P., "2, 4-dichlorophenol oxidation kinetics by Fenton's reagent". *Environmental Technology*, 17(12), s. 1371-1378, 1996.
45. Benitez, F. J., Acero, J. L., Real, F. J., Rubio, F. J., Leal, A. I., "The role of hydroxyl radicals for the decomposition of p-hydroxy phenylacetic acid in aqueous solutions", *Water Research*, 35(5), s. 1338-1343, 2001.
46. Sahinkaya, S., Aygun, A., Sevimli, M.F. "The Application Of Fe^0/H_2O_2 For Color Removal." *VIII th International Scientific Conference, Modern Management of Mine Producing Ecology and Environmental Protection, SGEM*, Vol. 1, s. 803 - 811, Bulgaria, 2008,
47. Kwon, B. G., Lee, D. S., Kang, N., Yoon, J., "Characteristics of p-chlorophenol oxidation by Fenton's reagent." *Water Research*, 33(9), s. 2110-2118, 1999.
48. Parmar, A., "Fenton process: a case study for treatment of industrial waste water". *Int J Innov and Emerg Res in Eng*, 1(2), s. 23-30, 2014.
49. Maletzky, P., Bauer, R., "The photo-Fenton method—degradation of nitrogen containing organic compounds." *Chemosphere*, 37(5), s. 899-909, 1998.
50. Nesheiwat, F. K., Swanson, A. G., "Clean contaminated sites using Fenton's reagent." *Chemical Engineering Progress*, 96(4), s. 61-66, 2000.
51. Bouasla, C., Samar, M. E. H., Ismail, F., " Degradation of methyl violet 6B dye by the Fenton process." *Desalination*, 254(1-3), s. 35-41, 2010.

52. Tony, M. A., Parker, H. L., Clark, J. H., “Treatment of laundrette wastewater using Starbon and Fenton's reagent.” *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 51(11), s. 974-979, 2016.
53. Teodoro, A., Boncz, M. Á., Júnior, A. M., Paulo, P. L., “Disinfection of greywater pre-treated by constructed wetlands using photo-Fenton: influence of pH on the decay of *Pseudomonas aeruginosa*.” *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(2), s. 958-962, 2014.
54. Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., “Optimization of treatment of grey wastewater using Electro-Fenton technique–Modeling and validation.” *Process Safety and Environmental Protection*, 95, s. 60-68., 2015.
55. Jefferson, B., Burgess, J. E., Pichon, A., Harkness, J., Judd, S. J., “Nutrient addition to enhance biological treatment of greywater.” *Water Research*, 35(11), s. 2702-2710, 2001.
56. Öden, M. K., “Sentetik tekstil atıksularında boyar maddelerin fenton proses ile arıtımı, *Selçuk Üniveristesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*”, s. 51, 2010.
57. Behnajady, M., Modirshahla, N. and Shokri, “M., Photodestruction of Acid Orange 7 (AO7) in aqueous solutions by UV/ H₂O₂ :influence of operational parameters,” *Chemosphere*, 55, s. 129-134, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Gamze ÖZGÜROĞLU 1993 yılında Ardahan’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2012 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2017 yılında mezun olduğu Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesinin, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. İstanbul ve Nevşehir’de çeşitli sektörlerde iş tecrübesi edinen Gamze ÖZGÜROĞLU, şuanda Nevşehir’de özel sektörde tehlikeli atık geri kazanım tesisinde çalışmaktadır.

Adres: 2000 Evler Mh. 34. Sok. Yuvam Apart No: 8/ 27 Nevşehir / Merkez

Telefon: 0538 798 58 48

e-mail: gamzeozguroglu.go@gmail.com

