

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

**METAL KAPLAMA ATIK SULARININ ARITIMINDA  
DÖKÜM ATIKLARININ FENTON YÖNTEMİNE  
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Mustafa YEMEN**

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

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**OCAK 2019  
NEVŞEHİR**

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

**METAL KAPLAMA ATIK SULARININ ARITIMINDA  
DÖKÜM ATIKLARININ FENTON YÖNTEMİNE  
UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Tezi Hazırlayan  
Mustafa YEMEN**

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

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**OCAK 2019  
NEVŞEHİR**

Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin CÜCE danışmanlığında **Mustafa YEMEN** tarafından hazırlanan “**Metal Kaplama Atık Sularının Arıtımında Döküm Atıklarının Fenton Yönetimine Uygulanabilirliğinin Araştırılması**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

03/01/2019

**JÜRİ**

Başkan :Doç. Dr. Erkan KALIPCI

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

Üye :Dr. Öğr. Üyesi İsmail ŞİMŞEK

**ONAY:**

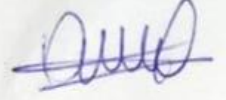
Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **1/01/2019** tarih ve **02-04** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

**28.01/2019.**  
Prof. Dr. Sahlan ÖZTÜRK  
Enstitü Müdürü  
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 bildirim.

Mustafa YEMEN



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın planlanmasında, yürütülmesinde ve sonuçlandırılmasında hoşgörüsünü, ilgisini, hem maddi hem manevi desteğini, esirgemeyen, her zaman engin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, saygı değer hocam sayın Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin CÜCE'ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Her daim yanımda hissettiğim, öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak beni bu günlere getiren, arkamda duran çok değerli eşim ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmam sürecinde analizlerin gerçekleştirilmesinde ve araştırmamda kullanılmak üzere proses atıklarını değerlendirme konusunda desteklerini esirgemeyen Teknik İş Döküm çalışanlarına teşekkür ederim.

Tezin kesintisiz olarak sürdürülmesinde, deneysel setlerin kurulmasında ve kimyasal ve sarf gibi ihtiyaçların karşılanmasında yardımlarından dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na

Bu araştırmanın yürütülmesinde, **YLTPF18** nolu ve 'Metal Kaplama Atıksularının Arıtımında Döküm Atıklarının Fenton Yöntemine Uygulanabilirliğinin Araştırılması' başlıklı tez projesine olan desteklerinden ötürü Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi BAP Birimi'ne teşekkür ederim.

**METAL KAPLAMA ATIK SULARININ ARITIMINDA DÖKÜM  
ATIKLARININ FENTON YÖNTEMİNE UYGULANABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**(Yüksek Lisans Tezi)  
Mustafa YEMEN**

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

**OCAK 2019**

**ÖZET**

Atık sularda toksik madde ve kalıcı organiklerin bulunması durumunda biyolojik arıtımla yeterli verim elde edilemediği görülmektedir. Özellikle farklı tipteki sanayi kuruluşlarından kaynaklı atık suların arıtımı için ileri oksidasyon proseslerine dayanan kimyasal prosesler öncelikli alternatif teknolojiler arasında gösterilmektedir. İleri oksidasyon prosesleri, hidroksil radikallerinin oluşumuna dayanmakta olup bu yöntemlerden biri olan Fenton prosesi, endüstriyel atıksular için düşünülen diğer ileri oksidasyon prosesleriyle kıyaslandığında basit uygulaması, düşük maliyette oluşu ve kısa reaksiyon zamanı gerektirmesi gibi birçok avantaja sahiptir. Bu tez çalışması kapsamında örnek bir endüstri için Fenton oksidasyonu ile atıksu arıtımında döküm sanayi atıklarından yararlanabilme hedeflenmiştir. Fenton oksidasyonunda etkin parametreler için (pH, peroksit ve demir dozajı gibi) laboratuvar koşullarında deneyler yapılmış ve optimum şartlar belirlenerek metal kaplama atıksularının arıtımında döküm sanayi atıklarından biri olan taşlama tozunun etkinliği araştırılmıştır.

***Anahtar Kelimeler: Fenton, döküm atıkları, taşlama tozu, krom kaplama atık suyu***  
**Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Hüseyin CÜCE**  
**Sayfa Adeti: 122**

**INVESTIGATION OF THE APPLICATION OF FOUNDRY WASTES TO THE  
FENTON METHOD FOR THE TREATMENT OF METAL PLATING  
WASTEWATER**

**(M. Sc. Thesis)  
Mustafa YEMEN**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**JANUARY 2019**

**ABSTRACT**

In the presence of toxic substances and persistent organics in waste water, it is seen that there is no sufficient yield with biological treatment. Chemical processes based on advanced oxidation processes for the treatment of wastewater from industrial plants of different types are listed among the priority alternative technologies. Advanced oxidation processes are based on the formation of hydroxyl radicals, one of which has many advantages such as simple application, low cost and short reaction time when compared to other advanced oxidation processes for industrial wastewaters. In the scope of this thesis, Fenton oxidation for an exemplary industry is aimed to be able to benefit from casting industry wastes in wastewater treatment. Experiments were carried out in laboratory conditions for effective parameters in Fenton oxidation (pH, peroxide and iron dosage) and the optimum conditions were determined and the efficacy of the foundry grinding powder, one of the foundry industrial wastes, in the treatment of metal plating wastewater was investigated.

***Key Words: Fenton, foundry waste, grinding powder, chromium plating wastewater***

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

**Page Number: 122**

## İÇİNDEKİLER

ONAY .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TABLO LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xiv
RESİMLER LİSTESİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
GENEL BİLGİLER .....	3
2. 1. Döküm Sanayi Atıkları ve Çevresel Etkileri.....	3
2.2. Döküm Yöntemleri.....	6
2.2. 1. Harcanan kalıp kullanan döküm yöntemleri .....	6
2.2.1.1 Kum kalıba döküm.....	6
2. 2. 1. 2. Kabuk kalıba döküm .....	7
2. 2. 1. 3. Seramik kalıba döküm.....	7
2. 2. 1. 4. Alçı kalıba döküm .....	7
2. 2. 1. 5. Hassas döküm (investment) .....	7
2. 2. 2. Kalıcı kalıp kullanan döküm yöntemleri.....	8
2. 2. 2. 1. Metal kalıba döküm.....	8
2. 2. 2. 2. Basınçlı döküm .....	8



2.2.2. 3.	Savurma (santrifüj) döküm .....	8
2. 2. 3.	Eritme ocakları .....	8
2.2.4.	Dökümhane atıkları .....	10
2. 2. 4. 1	Atık döküm kumu .....	13
2. 2. 4. 2.	Atık döküm kumunun geri kazanımı .....	14
2. 2. 4. 3.	Endüksiyon ocağı cürufu.....	16
2. 2. 4. 4.	Kupol ocağı cürufu.....	17
2.2.5.	Maça atıkları.....	19
2.2.6.	Filtre tozları.....	21
2. 2. 7.	Refrakter atıkları .....	22
2. 2. 8.	Döküm talaşı .....	23
2. 2. 9.	Taşlama tozları .....	24
2. 3.	İleri Oksidasyon Yöntemi İle Atık Su Arıtımı .....	25
2. 3. 1.	Fenton prosesi .....	25
2.3.2	Fenton prosesi etkileyen faktörler .....	26
2.3.2.1.	pH.....	26
2.3.2.2	Demir iyonu konsantrasyonu .....	26
2.3.2.3.	Hidrojen peroksit konsantrasyonu.....	26
2.3.2.4.	Sıcaklık.....	26
2.3.2.5	Kirletici konsantrasyonu .....	26
2.3.2.6	Tamponlayıcı tipi .....	27
2. 4.	Fenton Prosesinin Varyasyonları .....	27
2.4.1	Foto-fenton proses.....	27
2.4.2	Elektro-fenton proses .....	27
2. 5.	Fentonun Kullanım Alanları .....	28
2. 5.1	Alifatik ve aromatik bileşiklerin oksidasyonunda.....	28

2. 5. 1.1	Fenol ve türevleri .....	28
2.5.1.2	Patlayıcılar.....	28
2.5.1.3	Anilin .....	29
2.5.1.4	Karbon tetraklorid .....	29
2.5.1.5.	Metil tert-butil eter (mtbe) .....	30
2.5. 2.	Endüstride .....	30
2.5.2.1.	Tekstil endüstrisi .....	30
2.5.2.2.	Afyon alkaloidleri endüstrisi .....	31
2.5.2.3.	Kâğıt endüstrisi .....	31
2.5.2.4.	Zeytinyağı endüstrisi.....	32
2.6.	Dezenfeksiyon.....	32
2.6.1.	Pestisit oksidasyonunda .....	32
2.6.2.	Çamur şartlandırmada .....	33
2.6.3.	Katı atık sızıntı suyu arıtımında .....	33
2.7.	Fenton Prosesi İle Atıksuların Renk Giderimine Etki Eden Faktörler....	34
2.7.1	pH'ın etkisi.....	34
2.7.2.	Reaktiflerin etkisi .....	34
2.7.3.	Atıksu bileşenlerinin etkisi.....	35
2.7.4.	Sıcaklığın etkisi.....	35
2.7.5.	Fenton-benzeri prosesler .....	35
2.7.6	Fenton prosesinde koagülasyon ve oksidasyonun rolü .....	36
2.7.7	Fenton prosesli arıtma kombinasyonları .....	36
2.7.8.	Fenton prosesinin diğer ileri oksidasyon prosesleri ile karşılaştırılması ...	37
2.7.9.	Fenton proses ve toksisite .....	38
2.7.10.	Fenton prosesinin işletme maliyeti.....	39
2. 7.11.	Fenton oksidasyonu genel esasları .....	39

2.7.12.	Fenton oksidasyonu reaksiyonları.....	40
2.7.12.1.	Redoks reaksiyonları.....	40
2.7.12.2.	Koagülasyon reaksiyonları.....	41
2.7. 13.	Fenton oksidasyonuna etki eden faktörler.....	41
2.7. 13. 1.	Demir iyonu türünün etkisi .....	41
2.7.13.2.	Demir iyonu konsantrasyonunun etkisi.....	42
2.7.13.3.	Sıcaklığın etkisi.....	42
2. 7.13.4.	H2O2 konsantrasyonunun etkisi .....	43
2.7.13.5.	Reaksiyon süresinin etkisi.....	43
2.7.13.6.	UV ışınlarının etkisi .....	44
2.7.13.7.	Havalandırma etkisi .....	44
2.7.14.	Fenton oksidasyonu avantaj ve dezavantajları.....	44
2.7.14.1.	Fenton ve modifiye fenton prosesleri ile yapılan bazı arıtım çalışmaları	45
2.7.15	Metal kaplama endüstrisi .....	48
2.7.15.1.	Metal kaplama endüstrisi tanımı.....	48
2.7.16.	Metal Kaplama Yöntemleri.....	49
2.7.16.1.	Elektrolitik yolla metal kaplamacılığı.....	50
2.7.16.2.	Metal kaplamada izlenen aşamalar .....	51
2.7.16.2.1.	Yüzey temizleme işlemi.....	52
2.7.16.2.2.	Elektrolitik ve kimyasal parlatma .....	52
2.7.16.2.3.	Banyolarda kaplama.....	53
2.7.16.2.4.	Krom kaplama işlemi .....	53
2.7.17.	Metal kaplama endüstrisi atık sularının karakterizasyonu .....	54
2.7.18.	Metal kaplama endüstrisi atık sularının arıtım alternatifleri .....	55
2.7.19.	Siyanürlü atıksuların arıtımı.....	56
2.7.20	Kromlu atıksuların arıtımı.....	56

BÖLÜM 3 .....	58
METERYAL VE YÖNTEM.....	58
3.1. Deneysel Hazırlık ve Örneklemeye .....	58
3.2. Optimizasyon Çalışmaları .....	60
3.2.1. pH optimizasyonu .....	60
3.2.2. Fe <sup>2+</sup> dozu optimizasyonu .....	60
3.2.3. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> dozu optimizasyonu.....	60
3.2.4. Çökelme süresi optimizasyonu .....	60
3.3. Fenton Uygulama Yöntemi .....	61
3.4. Kullanılan Cihazlar .....	61
3.4.1. Atomik absorpsiyon spektrometre .....	61
3.4.2. Optik emisyon spektrometre .....	61
3.4.3. Ultrasonik su banyosu .....	62
3.4.4. Analitik terazi .....	62
3.4.5. pH metre.....	62
3.4.6. Saf Su cihazı.....	62
3.4.7. Karıştırıcı.....	62
3.4.8. Termoreaktör.....	63
3.4.9. Jar testi .....	63
3.4.10. RES renk metodu .....	64
3.4.10.1. RES analizinin yapılışı.....	64
3.4.11. KOİ (mg/L) .....	65
3.4.12. Stok ve ara stok çözeltileri .....	65
BÖLÜM 4 .....	66
BULGULAR.....	66
4.1. 20 Ppm sentetik suyla atık taşıma tozu optimizasyonu.....	66

4.2.	FeSO <sub>4</sub> 950 ppm atık su ile yapılan optimizasyon çalışması .....	79
4.3.	Atık Taşlama Tozu ile 950 ppm Atık Suyun Optimizasyonu .....	91
BÖLÜM 5 .....		104
TARTIŞMA VE SONUÇ .....		104
5. 1.	Yöntemin gerçek örnek uygulaması.....	104
5.2.	Bulguların Değerlendirilmesi .....	104
5. 3.	Sonuç ve Öneriler.....	107
KAYNAKLAR .....		114
ÖZGEÇMİŞ .....		121

## TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.	Metal Kaplama Endüstrisinde Kullanılan Bazı Metaller ve Kullanım Amaçları .....	49
Tablo 3.1.	Atık suyun özellikleri.....	59
Tablo 3.2.	Atık Taşlama tozunun içerikleri.....	59
Tablo 4.1.	pH' nın Cr <sup>+6</sup> giderimine etkisi.....	69
Tablo 4. 2.	Atık taşlama tozu miktarının Cr <sup>+6</sup> giderimine etkisi .....	71
Tablo 4. 3.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının Cr <sup>+6</sup> giderimine etkisi.....	73
Tablo 4. 4.	Atık taşlama tozu miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	74
Tablo 4.5.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	76
Tablo 4.6.	pH 'ın Renk (RES)giderimine etkisi .....	78
Tablo 4.7.	pH miktarının Cr <sup>+6</sup> giderimine etkisi .....	79
Tablo 4.8.	pH miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	80
Tablo 4.9.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının Cr <sup>+6</sup> giderimine etkisi.....	82
Tablo 4.10.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	84
Tablo 4. 11.	FeSO <sub>4</sub> miktarının Cr <sup>+6</sup> giderimine etkisi.....	85
Tablo 4. 12.	FeSO <sub>4</sub> miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	87
Tablo 4. 13.	FeSO <sub>4</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi.....	88
Tablo 4. 14.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi.....	89
Tablo 4. 15.	pH miktarının KOİ giderimine etkisi .....	91
Tablo 4. 16.	pH miktarının Cr <sup>+6</sup> giderimine etkisi .....	91
Tablo 4. 17.	pH miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	93

Tablo 4. 18.	Atık taşlama tozu miktarının $Cr^{6+}$ giderimine etkisi .....	94
Tablo 4. 19.	Atık taşlama tozu miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	96
Tablo 4. 20.	$H_2O_2$ miktarının $Cr^{6+}$ giderimine etkisi.....	97
Tablo 4. 21.	$H_2O_2$ miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	99
Tablo 4. 22.	pH miktarının KOİ giderimine etkisi .....	100
Tablo 4. 23.	Atık Taşlama Tozu miktarının KOİ giderimine etkisi .....	101
Tablo 4. 24.	$H_2O_2$ miktarının KOİ giderimine etkisi.....	102

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Atık yönetimi hiyerarşisindeki geçerli geleneksel öncelik düzenlemesi (sol), atık yönetiminde hedeflenen hiyerarşi (sağ) .....	12
Şekil 2.2.	Metal Kaplama Proses Adımları .....	50
Şekil 4.1.	pH 3' te reaksiyon süresinin $Cr^{6+}$ giderimine etkisi.....	67
Şekil 4.2.	pH 3,5 te reaksiyon süresinin $Cr^{6+}$ giderimine etkisi .....	67
Şekil 4.3.	pH 4' te reaksiyon süresinin $Cr^{6+}$ giderimine etkisi.....	68
Şekil 4.4.	pH' nın $Cr^{6+}$ giderimine etkisi.....	69
Şekil 4.5.	Atık taşıma tozu miktarının $Cr^{6+}$ giderimine etkisi.....	70
Şekil 4. 6.	$H_2O_2$ miktarının $Cr^{6+}$ giderimine etkisi.....	72
Şekil 4. 7.	Atık taşıma tozu miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	75
Şekil 4. 8.	$H_2O_2$ miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	77
Şekil 4. 9.	pH 'ın Renk (RES)giderimine etkisi.....	78
Şekil 4. 10.	pH miktarının $Cr^{6+}$ giderimine etkisi .....	80
Şekil 4. 11.	pH miktarının Renk (RES)giderimine etkisi.....	81
Şekil 4. 12.	$H_2O_2$ miktarının $Cr^{6+}$ giderimine etkisi.....	81
Şekil 4. 13.	$H_2O_2$ miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	83
Şekil 4. 14.	$FeSO_4$ miktarının $Cr^{6+}$ giderimine etkisi.....	86
Şekil 4. 15.	$FeSO_4$ miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	86
Şekil 4. 16.	$FeSO_4$ miktarının KOİ giderimine etkisi.....	88
Şekil 4. 17.	$H_2O_2$ miktarının KOİ giderimine etkisi.....	90
Şekil 4. 18.	pH miktarının KOİ giderimine etkisi.....	90
Şekil 4. 19.	pH miktarının $Cr^{6+}$ giderimine etkisi .....	92
Şekil 4. 20.	pH miktarının Renk (RES)giderimine etkisi.....	93
Şekil 4. 21.	Atık taşıma tozu miktarının $Cr^{6+}$ giderimine etkisi .....	95
Şekil 4. 22.	Atık taşıma tozu miktarının Renk (RES)giderimine etkisi .....	95



Şekil 4. 23.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının Cr <sup>6+</sup> giderimine etkisi .....	98
Şekil 4. 24.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi .....	98
Şekil 4. 25.	pH miktarının KOİ giderimine etkisi .....	99
Şekil 4. 26.	Atık Taşlama Tozu miktarının KOİ giderimine etkisi .....	101
Şekil 4. 27.	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi .....	103
Şekil 5. 1.	FeSO <sub>4</sub> ve Taşlama tozu H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı'nın Cr <sup>6+</sup> giderimi karşılaştırılması .....	108
Şekil 5. 2.	FeSO <sub>4</sub> ve Taşlama tozu Fe <sup>2+</sup> miktarı'nın Cr <sup>6+</sup> giderimi karşılaştırılması.	109
Şekil 5. 3.	FeSO <sub>4</sub> ve Taşlama tozu pH değişimin'de Cr <sup>6+</sup> giderimi karşılaştırılması	109
Şekil 5. 4.	FeSO <sub>4</sub> ve Taşlama tozu Fe <sup>2+</sup> miktarı'nın KOİ giderimi için karşılaştırılması .....	110
Şekil 5.5.	FeSO <sub>4</sub> ve Taşlama tozu H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı'nın KOİ giderimi için karşılaştırılması .....	110
Şekil 5. 6.	FeSO <sub>4</sub> ve Taşlama tozu pH değişimin'de KOİ giderimi için karşılaştırılması .....	111
Şekil 5.7.	FeSO <sub>4</sub> ve Taşlama tozu Fe <sup>2+</sup> miktarı'nın Renk giderimi için karşılaştırılması .....	111
Şekil 5.8.	FeSO <sub>4</sub> ve Taşlama tozu H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> miktarı'nın Renk giderimi için karşılaştırılması.....	112
Şekil 5. 9.	FeSO <sub>4</sub> ve Taşlama tozu pH değişimin'de Renk giderimi için karşılaştırılması .....	113

## RESİMLER LİSTESİ

Resim 3. 1.	Fenton Reaksiyonu.....	60
Resim 3. 2.	Ultrasonik su banyosu Fenton Taşlama tozu çözme .....	62
Resim 3. 3.	Fenton manyetik karıştırma.....	63
Resim 3. 4.	Termoreaktörle KOİ Hazırlama .....	63
Resim 3.5.	Jar Testi FeSO <sub>4</sub> Karıştırma.....	64
Resim 4.1.	Fenton reaksiyonları .....	66

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:</b>	Hidrojen peroksit
<b>UV:</b>	Ultra viole
<b>(PA):</b>	2,4,6-Trinitrofenol
<b>(AP):</b>	Amonyum pikronitrat
<b>(DNT):</b>	2,4-dinitrotoluen
<b>(Tetril):</b>	Methil-2,4,6-trinitrofenilnitramin
<b>(TNT):</b>	2,4,6-trinitrotoluen
<b>RDX:</b>	(heksahidro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazin)
<b>HMX:</b>	Oktahidro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazosin
<b>MTBE:</b>	Metil tert-bütül Eter
<b>KOİ:</b>	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>TOK:</b>	Toplam Organik Karbon
<b>ClO<sub>2</sub>:</b>	Klor di Oksit
<b>BOİ:</b>	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
<b>Fe<sup>2+</sup>:</b>	Demir +2 iyonu
<b>Fe<sup>3+</sup>:</b>	Demir +3 iyonu
<b>Mn<sup>2+</sup>:</b>	Mangan +2 iyonu
<b>Cu<sup>2+</sup>:</b>	Bakır +2 iyonu
<b>Ag<sup>+</sup>:</b>	Gümüş +1 iyonu
<b>FeSO<sub>4</sub>:</b>	Demir Sülfat

<b>Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>:</b>	18H <sub>2</sub> O:Aluminyum sülfat
<b>FeCl<sub>3</sub>:</b>	Demir III klorür
<b>TiO<sub>2</sub>:</b>	Titanyum Oksit
<b>O<sub>3</sub>:</b>	Ozon
<b>EC:</b>	Elektrokoagülasyon
<b>CN:</b>	Siyanür
<b>SO<sub>2</sub>:</b>	Kükürt dioksit
<b>Cr<sup>6+</sup>:</b>	Krom +6 iyonu
<b>Cr<sup>3+</sup>:</b>	Krom +3 iyonu
<b>SO<sub>3</sub>:</b>	Kükürt trioksit
<b>SO<sub>4</sub>:</b>	Sülfat
<b>Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:</b>	Sodyum bisülfat
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>:</b>	Sülfüröz Asit
<b>EDTA:</b>	Etilen di Amin tetra AsetikAsit
<b>H<sub>2</sub>O:</b>	Su
<b>(DY12):</b>	Direct Yellow 12
<b>(DR28):</b>	Direct Red 28
<b>AKR:</b>	ardışık kesikli reaktör
<b>ETU:</b>	Etilen Thioura
<b>ABS:</b>	alkil benzen sülfonat
<b>(LAS):</b>	lineer alkil benzen sülfonat

<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>:</b>	di Kromat
<b>XANES:</b>	X-Ray adsorpsiyonu
<b>HRT:</b>	hidrolik bekleme süresi
<b>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:</b>	Potasyum di Kromat
<b>RES:</b>	Renklilik Sayısı



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Kaplama sularının organik ve ağır metal atıklarındaki yapılması gereken imha oranının yükselmesi sonucu, bu tip atık sulardaki mineralizasyonun tam anlamı ile sağlanması için yeni teknolojilere ihtiyaç duyulmuştur. Bu konuda gelecek vadeden teknolojik çalışmalardan biride, ileri oksidasyon prosesleridir. Bu çalışmada organik kirletici maddelerin oranını azaltıcı veya renk ağartıcı, etkili bir ileri oksidasyon yöntemi olan fenton yöntemi detaylı bir şekilde ele alınacaktır [1].

Atık sularda, yüzey sularında ve yeraltı sularında bulunan organik kirleticilerin varlığı, endüstriyel ve sanayi atık suları, tarımda kullanılan sular, kontamine olmuş toprak ve teklikeli atık madde alanlarından çevreye yayılan sıvı sızıntıları gibi birçok kaynağa bağlı olabilmektedir. Bu tip zararlı organik bileşenlerin canlılar tarafından kullanılan sularda bulunması, halk ve çevre yerleşimlerinin sağlığı açısından ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Toksik olarak kabul edilen bu bileşimlerin büyük bir kısmı, insanlar, hayvanlar ve suya bağlı canlılar üzerinde bağışıklık sistemlerine etki ederek endokrin sistemlerde bozucu, mutasyona yol açan ve potansiyel olarak kanserojen etkiye sahiptirler. Çözünmesi zor olan organik atıkların belirtilen bu zararlı yönleri, çok düşük konsantrasyonlarda dahi mevcuttur. Oluşturduğu zararlı yönlerinden dolayı, kontamine sulardan arındırılmaları yüksek önceliğe sahip bir uygulamadır ve etkin bir şekilde tasfiyeleri zorunludur. Birçok durumda geleneksel iyileştirme yöntemleri (örneğin; biyolojik prosesler) etkin değildir ve ileri oksidasyon prosesleri tercih edilmektedir [2,3].

Kaplama sularındaki organik ağır metal atıkların ayrıştırılması için yaygın olarak doğrudan oksitleme proses yöntemleri kullanılmaktadır. Doğrudan oksitleme yöntemi ile yüksek verimlilikte bir ayrıştırma mümkün olmaktadır. Yalnız, kirlilik oranı, proses sınırlamaları ve operasyon şartlarına bağlı olarak en uygun oksitleme yönteminin seçilmesi gerekmektedir.

Yüksek ayırıştırma verimliliğinin yanı sıra, doğrudan oksitlenme, spesifik olarak belirtilmiş operasyon şartlarının sağlanması gereken bir yöntemdir ve bu tip ayırıştırılmalarda uygulama maliyeti artmaktadır [4-8].

Kaplama sularındaki organik ve ağır metal atıklarının ayırıştırılmasında etkili yöntemler, alternatif su arıtma prosesi olan ileri oksidasyon prosesleridir. Bu yöntemde, doğrudan oksitlenme yöntemine göre daha az enerji gereksinimi duyulmaktadır [1].

İleri oksidasyon prosesleri, ambiyant, ısı ve basınç altında uygulanan su arıtma yöntemleridir ve etkin miktarda hidroksil radikalleri üreterek suyun saflaştırılmasında kullanılır [9]. Hidroksil radikalleri yüksek reaktivite gösteren bileşenlerdir ve organik moleküllerin büyük kısmına tesir ederek  $10^6-10^9$  L mol<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> sabit oranları arasında reaksiyona girerler [10].

İleri oksidasyon prosesleri reaktif fazlarına göre (homojen ve heterojen) veya hidroksil radikal açığa çıkarma yöntemlerine (kimyasal, elektro-kimyasal, sono-kimyasal ve foto-kimyasal) göre sınıflandırılır. Foto-elektro-Fenton ve sono-elektro-Fenton gibi geleneksel ve geleneksel olmayan ileri oksidasyon yöntemlerini kombine eden prosesler de mevcuttur [11].

Atık su arıtımında, biyolojik prosesler, maliyeti daha düşük olması sebebiyle tercih edilmektedir. Yalnız, atık suda zehirli ve kalıcı özellikte kirletici maddelerin tespit edilmesi durumunda biyolojik prosesler verimliliğini kaybetmektedir. Bu tip atık sularda BOİ KOİ'den çok küçüktür ve bu nedenle biyolojik arıtım uygun görülmemektedir. Bu atık suların arıtımında fizikokimyasal yöntemler (koagülasyon-flokülasyon, filtrasyon, aktif karbon adsorbsiyonu, hava ile sıyırma) etkili olmasına rağmen kirleticilerin bir ortamdan başka bir ortama aktarılması gerekli olduğundan tercih edilmemektedir. Bu nedenle, özellikle biyolojik arıtım yapılmadan önce toksisite ve organik madde seviyesini düşürmek için ileri oksidasyon prosesleri kullanılmaktadır. İleri oksidasyon prosesleri, yüksek elektrokimyasal oksidasyon potansiyeline sahip hidroksil radikallerinin oluşumuna dayanmaktadır. Hidroksil radikalleri seçici olmayıp tüm organik maddeler ile reaksiyona girerler ve son ürün olarak CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O oluştururlar [12].

## BÖLÜM 2

### GENEL BİLGİLER

#### 2. 1. Döküm Sanayi Atıkları ve Çevresel Etkileri

Döküm sanayi çeşitli pik demir, çelik veya hurda metaller ile ferro alaşımların endüksiyon, ark veya kupol ocaklarında ergitilerek kum, seramik ve çeşitli metal kalıplar kullanılarak şekillendirilmesidir. Sanayinin ihtiyacı olan çelik, sfero, pik ve temper döküm ürünlerinin ham veya işlenmiş olarak ve spesifik şekillerde üretildiği sanayi sektörüdür . Döküm sektörü dünya çapında 4D (dirty, difficult, dangerous, dusty) sektörü olarak tanımlanır ve kirli, zor, tehlikeli ve tozlu olarak betimlenmiştir. Çok farklı endüstrilere ürün sağladığı için yüksek bir istihdam oranına sahiptir ve dünyada vazgeçilmez sektörlerden birisidir [13].

Döküm işlemi çeşitli mekanizmaların belirli parçalarını üretmek amacı ile kullanılır. Kompleks şekillere sahip bu tarz metal parçalar, herhangi bir başka yöntemle üretildiğinde, ekonomik olarak verimsiz olmaktadır.. Modern döküm süreçleri genel olarak 2 ana alt kategoriye ayrılabilir ve bunlar harcanan kalıba döküm yöntemleri ve kalıcı kalıp kullanılan döküm yöntemleri olarak tanımlanabilir. Döküm işleminin kullanıldığı en büyük sektörlerin başında otomobil motoru ve diğer petrol motorları üretimleri gelir. Döküm sanayi, telekomünikasyon, havacılık ve uzay, demiryolu, yağ, gaz ve kimyasal endüstrileri ile birlikte diğer birçok endüstride de kilit rol oynar [14].

Yüzyıllardır kullanılan en geçerli harcanan kalıp kullanılan döküm yöntemlerinden biri kum kalıba dökümdür. Bunun dışında kabuk kalıba döküm, seramik kalıba döküm, alçı Kalıba döküm ve hassas döküm (investment) olmak üzere farklı ve yaygın olarak kullanılan harcanan kalıp yöntemleri mevcuttur. Kullanılan kalıpların kalıcı ve tekrar kullanılabilir olduğu diğer alt kategoride ise metal kalıba döküm, sıcak ve soğuk hazneli olmak üzere ikiye ayrılan basınçlı döküm, savurma döküm ve sürekli döküm yer almaktadır. Döküm işlemlerinde kullanılan metal alaşımları da fiziksel ve kimyasal olarak farklıdır ve üç ana başlık altında gruplandırılabilirler. Demir döküm, çelik döküm ve demir dışı döküm olarak sınıflandırılan döküm çeşitleri kendi içlerinde de ayrılırlar.



Örneğin demir dökümde kullanılan materyal lamel grafitli dökme demir, küresel grafitli dökme demir veya temper dökme demir olarak kullanılabilir. Çelik döküm çeşitleri ise iki ana grupta toplanır ve bunlar karbon çelikleri ve az alaşımlı çelikler ile yüksek alaşımlı (paslanmaz) çelikler olarak ayrılır. Demir dışı döküm olarak sınıflandırılan grup ise alüminyum esaslı alaşımlar, bakır esaslı alaşımlar (pirinç ve bronz), magnezyum esaslı alaşımlar, çinko esaslı alaşımlar ve nikel, kurşun kalay, kobalt gibi diğer bir çok alaşım çeşitlerinden oluşur. Kullanılan malzeme, kullanılan kalıp veya süreç her ne kadar birbirinden farklı olsa da, döküm işlemlerinde temel olarak altı temel adımdan söz edilebilir. Bu adımlar, kullanılacak kalıbın (modelin) hazırlanması, maça yapımı, kalıp hazırlama ve kalıplama, ergitme ve dökme ile temizleme ve kontrol olarak sıralanabilir.

Model yapımı olarak tanımlanan evre, dökülecek malzemenin katılma prensiplerini esas alan ve genleşme, çekme veya işleme payları düşünülerek geliştirilen modelleme sürecidir. Modeller genel olarak işleme ve şekil vermesi kolay olan metal, tahta, alçı veya balmumu gibi materyaller kullanılarak oluşturulur. Maça yapımı da modellemenin ardından döküm işlemi öncesi tamamlanması gereken ikinci hazırlık aşamasıdır. Maça, kalıplardaki boşluklara yerleştirilen ve kapladıkları alanın hacmi ile doğru orantılı, döküm sonrası elde edilecek üründeki boşlukların oluşturulmasını sağlayan parçalardır. Maçalar genel olarak aşınma, kırılma, termik şok veya metal sızıntısı gibi ermiş metal dökümünü takiben ortaya çıkabilecek komplikasyonlara karşı engel teşkil edecek özelliklerde olmalıdır. Dökümden sonra kolayca dağılmaları veya çıkartılmaları verim ve kalite için önemlidir. Metal veya seramik olan maçalar da tercih edilse de en çok kullanılan türleri kum esaslı olanlardır. İç boşlukların oluşturulması için kullanılan maçalar, kalıbın tamamının oluşturulması için de kullanılabilir. Maça bağlayıcıları da döküm sanayii için önemli bir yöntemler bütününe gruplandırılır. Esas olarak iki ana kategoriye toplanan maça bağlayıcıları organik bağlayıcı yöntemler ve inorganik bağlayıcı yöntemlerdir. Furan yöntemi, soğuk kutu yöntemi, pep-set yöntemi, Fascold yöntemi ve alkid-yağ yöntemi, organik bağlayıcı yöntemlere örneklerdir. İnorganik bağlayıcı yöntemler ise karbondioksit yöntemi, toz sertleştiricili sodyum silikat yöntemleri ve sıvı sertleştiricili sodyum silikat yöntemi olarak sınıflandırılabilir [15].

Ergitme evresi, döküm prosesi için kullanılacak olan metal alaşımlarının çeşitli fırınlarda uygun sıcaklıklara getirilerek, hazırlanmış kalıplara dökümü olarak

tanımlanabilir. Ergitme fırınları temelde belli ağırlıklarda ve çeşitli bileşimlerde bulunan metal alaşımları, istenilen ergitme hızı ve ekonomik verimlilik gibi parametreler optimize edilmiş olarak, ideal döküm sıcaklıklarına ulaştırırlar. Kupol ve pota gibi yakıt kullanılan fırın tiplerinde yanıcı sıvılar, gazlar, yağ, kömür veya doğal gaz gibi çeşitli enerji kaynakları kullanılır. Ark ve endüksiyon ocakları gibi elektrik enerjisi bazlı fırınlarda ise yüksek frekanslı elektrik akımı kullanılmaktadır. Endüksiyon ocakları, döküm prosesi için kullanılacak olan sıvı metale yabancı madde bulaşmaması bakımından daha verimlidir. Ergitme ünitelerinde elektrik fırınlarının kullanımı giderek artmaktadır ve bunun, yüksek hassasiyette sıcaklık kontrolü ve genel prosese kazandırdıkları esneklik gibi çeşitli sebepleri vardır. Ark ve endüksiyon ocakları ısı üretimi sırasında herhangi bir kimyasal reaksiyon veya yanma olayı içermediklerinden, elde edilen son ürünün saf olması özellikle değinilmesi gereken bir noktadır. Ark ve endüksiyon ocaklarında iyi bir filtrasyon sistemi kullanılması durumunda, emisyonun neredeyse sıfır bandında olması gözlenir [16].

Çeşitli fırınlarda sıvılaştırılmış metalin kalıplara doldurulması, katılaştırılmasının beklenmesi ve kalıpların açılarak veya kırılarak ortamdan uzaklaştırılması prosesi her metotta farklılık göstermektedir. Kalıcı kalıp kullanımının tercih edildiği yöntemlerde yukarıda betimlenen döküm süreci daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Harcanan kalıp kullanılan yöntemlerde döküm ve parça alma süreci daha uzundur. Kalıcı kalıplara dökülerek katılaştırılmış parçalar alındıktan sonra da döküm işlemleri devam eder. Öte yandan, harcanan kalıp kullanımlarında ise her döküm sonrası kalıplar bozularak içerisinden istenilen parça alınır. Örneğin, kum kalıp kullanımlarında, titreşim yayan sarsaklar kullanılarak kum ile dökülen parça ayrılır. Döküm ürünü parça temizleme ve kalite kontrol ünitesine giderken, harcanabilir kalıp olarak kullanılan ve daha sonra parçalanan kum kalıptan elde edilen kum ise yeniden kalıp haline sokulmak üzere geri dönüştürülür. Kumların döküm işlemlerinden sonra tekrar kullanılması için manyetik seperatörlerden, eleklerden ve soğutma sistemlerinden faydalanılarak kum silolarına gönderilir. Bu proses esnasında filtrelerde toplanan tozlar, elek üstünde kalan kumlar ve stok fazlalıkları, dökümhane atıklarından bazılarını oluşturmaktadır. Bu kumlar, reklamasyon işlemine tabi tutularak yenilenir ve belli oranlarda tekrar kullanılabilir. Kum yenileme işlemlerinden en yaygın olarak kullanılanları kuru yenileme, yağ

yenileme, termal yenileme ve yaş veya kuru işlem ile termal yenileme işleminin beraber uygulandığı dört yöntemdir [17].

Standart olarak kullanılan temizleme işlem prosesi ise istenilen parçanın kusursuz bir şekilde elde edilmesi açısından önem arz eder. Yaygın olarak kum kalıplarla birlikte ve birçok başka yöntemde de kullanılan temizleme evreleri şu şekilde genellenir; kalıba dökülen parçalar öncelikle çelik bilye püskürtülen ve kumlama adı verilen temizleme makinelerinden geçirilerek döküm ürününde kalan yapışık metal veya oksitlenme ürünleri uzaklaştırılır. Döküm ürünü olan parçanın üzerinde bulunan yolluk, besleyici ve çıkıcı gibi çeşitli döküm elemanları veya bu elemanlardan geriye kalan istenmeyen parçalar kesilip taşlanarak istenen döküm ürünü temiz bir şekilde elde edilir. Daha sonra elde edilen parçalar boyama veya farklı işleme proseslerinden geçirilerek son ürün elde edilir. Parçaların kumlandığı makinaların toz filtrelerinden toz atıklar ve aynı zamanda taşlama hatlarından ise ağırlıklı olarak demir veya kullanılan metalin yapısında toz atıklar oluşmaktadır [18].

## **2.2. Döküm Yöntemleri**

### **2.2. 1. Harcanan kalıp kullanan döküm yöntemleri**

#### **2.2.1.1. Kum kalıba döküm**

Döküm proseslerinde en çok tercih edilen kalıplama yöntemi kum kalıplardır. Genel bir ortalama ile her 1 ton döküm için 4 ila 5 ton kum gereklidir. Gerekli kumun miktarı dökülen metalin cinsine, parça büyüklüğüne ve kalıplama tekniğine bağlı olarak değişir. Kullanılan kalıbın cinsine göre kum kalıba döküm işlemi; yaş kum kalıp, kuru kum kalıp, maçaların tamamen bir araya getirilmesi sonucu oluşan maça kalıp, kabuk kalıp (shell mold), gaz sertleştiricili silikat yöntemi olarak bilinen CO<sub>2</sub> yöntemi ile hazırlanan kalıp, organik bağlayıcı ve katalizörler karışımından oluşan ve sıvı reçinelerin polimerizasyonu ile havada sertleşen air-set kalıplar olarak sınıflandırılır. En çok kullanılan yaş kum kalıplarda bağlayıcı olarak doğal kil bentonit kullanılır. Refrakter malzeme olarak ise en çok tercih edilen element silis kumu olarak ifade edilen kuars kullanımındadır (SiO<sub>2</sub>). Bentoniti aktive etmek için kum kalıplarda su kullanılır. Demir dökümlerinde ise kalıp kumunun bileşenleri arasına kömürden direk elde edilen kömür tozu da ilave edilir. [19].

### **2. 2. 1. 2. Kabuk kalıba döküm**

Kabuk kalıba döküm yöntemi aynı zamanda ‘‘shell molding’’ veya ‘‘crowning’’ yöntemleri olarak ta bilinmektedir. Bu yöntemde kalıp, ısıtılmış bir model etrafında yapılandırılan kum ve sıcaklık etkisi ile sertleşme özelliğine sahip reçine bağlayıcı karışımdan meydana gelmektedir. Karışım ısıtıldığında, reçine ile bağlanan kum tanecikleri çok sert bir kabuğa dönüşür. Kabuk kalıplama yöntemi birkaç gram ile 180 kg ağırlığa kadar demir ve demir dışı alaşımların dökümünde kullanılabilir [20].

### **2. 2. 1. 3. Seramik kalıba döküm**

Seramik kalıba döküm yöntemi, aşağıda detaylandırılan hassas döküm (investment) yönteminden türetilerek geliştirilmiş hassa bir yöntemdir. Parça sayısının çok az olduğu durumlarda veya parça boyutlarının diğer hassa yöntemler ile üretilemeyecek kadar büyük olduğu durumlarda kullanılır [21].

### **2. 2. 1. 4. Alçı kalıba döküm**

Alçı kalıba döküm yöntemi demir dışı metallerin şekillendirilmesinde kullanılan özel bir döküm yöntemidir. Ana kalıplama malzemesi olarak alçı kullanılır. Bu yöntemde boyutsal hassasiyet oldukça yüksek bir seviyededir ve döküm yüzeyinin düzgünlüğü açısından, kum kalıplara veya astarlanmış metalik kalıplara göre son derece ince yüzey detayları şekillendirilebilir [22].

### **2. 2. 1. 5. Hassas döküm (investment)**

Hassas döküm yönteminde harcanan modeller kullanılır ve modelin etrafı oda sıcaklığında sertleşebilen bir Refrakter çamur ile sarılarak hazırlanan kalıplar kullanılır. Kullanılan modellerde materyal seçimi genellikle balmumu ve plastikten yana yapılır ve kullanılan model daha sonradan ergitilerek veya yakılarak döküm işleminin gerçekleştirileceği kalıp boşluğu oluşturulur. Kum kalıba döküm yönteminde kullanılan modeller genel olarak ağaç veya metalden oluşturulur ve tekrar kullanılabilirler [23].

## **2. 2. 2. Kalıcı kalıp kullanan döküm yöntemleri**

### **2. 2. 2. 1. Metal kalıba döküm**

Metal kalıba döküm yöntemi genel olarak karmaşık şekillere sahip ve dar boyut toleransları mevcut olan, çok sayıda üretilmesi planlanan döküm parçalar için tercih edilir. Metal kalıplara döküm uygulanabilen metaller; alüminyum, bakır, magnezyum, çinko esaslı alaşımlar ve hiperötektik gri dökme demirlerdir ve her türden metal alaşımlar metal kalıba dökmeye uygun değildir. Metal kalıplar genellikle açılıp kapanan iki veya daha çok parçadan meydana gelir. Kapanan parçaların yarattığı boşluğa uygulanan döküm işlemi, metal sertleştikten sonra kalının açılarak ürünün alınması ile son bulur. [24].

### **2. 2. 2. 2. Basınçlı döküm**

Ergitilmiş metalin çok yüksek basınç altında, tamamen metalden yapılmış ve iç yüzeyine kaydırıcı madde sürülmüş bir kalıba dökülmesini esas alan bir döküm yöntemidir. Uygulanan basınç, fazla miktarlardaki ergitilmiş metalin uygulanacak kalıba hızlı bir şekilde doldurulmasını sağlar. Genellikle kalıp içerisine dökülen metalin katılaşması tamamlanıncaya kadar basınç uygulanmaya devam eder ve son ürünün kalıptan çıkarılması ile son bulur. Çok karışık şekillerin dökümü için kullanılan bir yöntemdir. [25].

### **2.2.2. 3. Savurma (santrifüj) döküm**

Ergitilmiş metalin katılaşırken geçirdiği büzülmeden dolayı meydana gelen boşlukları minimuma indirmek veya tamamen gidermek amacı ile basınç kullanılması düşüncesi üzerine, savurma döküm yöntemi geliştirilmiştir. Sıvı metal, kalıp içerisine bir santrifüj makinası aracılığı ile oluşturulan merkezkaç kuvvetinden yararlanılarak gönderilir ve devam eden kuvvet sayesinde katılaşan metalde büzüşmeye bağlı kayıp yaşanmaz [26].

### **2. 2. 3. Eritme ocakları**

Metal alaşımın ergitilmesi için eritme ocaklarından yararlanır. Döküm sanayisinde kullanılan farklı eritme ocakları mevcuttur ve bunlar potalı ocaklar, kupol ocakları, alevli ocaklar, elektrikli ark ocakları, endüksiyon ocakları ve elektrik direnç ocakları

olarak sınıflandırılabilir. Kullanılacak ergitme ocaklarının seçimi, dökülecek metal veya alaşımların türü ve miktarına, ilk yatırım ve işletme giderlerinin verimliliği ile döküm parametrelerinin kontrol imkanları ve metalürjik temizlik konularının değerlendirilmesine bağlıdır [12].

Potalı ocaklar, metal eritmede kullanılan en temel ve eski araçlardır. İçi ateş tuğlası ile örülmüş bir metal kabuklu haznedan ve açılıp kapanabilen bir kapaktan oluşur. Sabit olarak kullanılan ve aynı zamanda devrilebilen çeşitleri mevcuttur. Küçük potalar genellikle atölye tabanı seviyesinin altında bulunan sabit çukurlarda, daha büyük potalar ise taşınmalarının güç olması sebebi ile genellikle devrilir tip ocak olarak kullanılırlar.

Kupol ocağı sanayide fazlaca tercih edilen bir ocak tipidir. Genellikle saçtan yapılmış ve içi refrakter tuğla ile örülerek astarlanmış, silindirik bir ocaktır. Çoğunlukla sıvı dökme demir elde etmek için kullanılan bu tip ocakların dış çapları ise ortalama 1-2 m arasındadır. Kapasiteleri ise saatte 20 ton seviyelerine kadar çıkabilir. [27].

Alevli ocaklar da bir başka metal eritme ocağı tipidir. Bu tür ocaklarda alev, ergitilmek istenen katı metalin yüzeyini yalayacak şekilde uygulanır ve enerji kaynağı olarak da gaz, sıvı ve pülverize kömür kullanılabilir. Genel olarak kupol ocakta eritilmiş dökme demirin bekletilerek kimyasal bileşiminin düzenlenmesi gerektiği (örneğin temper döküm) durumlarda ve alüminyum ve bakır alaşımları gibi demir dışı metallerin eritilmelerinde kullanılır [12].

19. yüzyılın sonlarından bu yana döküm ocaklarında elektrik enerjisinden yararlanılmaya başlanmış ve günümüzde de oldukça yaygındır. Elektrik enerjisinin ucuzlaşmasının ve yöntem üstünlüklerinin keşfedilmesi ile oldukça yaygınlaşan elektrikli ocaklar farklı tiplerde kullanılmaktadır. Ark ocakları, endüksiyon ocakları ve direnç ocakları olmak üzere farklı gruplarda incelenirler. Bu tip ocaklarla 3000°C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşmak mümkün ve sıcaklığın kontrolü kolaydır. Çalışma ortamı temizdir ve eritilen metalin bileşimi, enerji üretiminden kaynaklanan atıklar dolayısı ile eritilen metalin bileşimi bozulmaz. Arıtma ve alaşımlandırma gibi işlemler kolaylıkla gerçekleştirilebildiği gibi, farklı alaşımlar için değişik kapasitelerde ocaklar geliştirilmiştir.

Ark ocakları sistemlerinde, ocak içerisinde oluşturulan bir elektrik arkından yayılan ısının kullanılması prensibi bulunmaktadır. Bu ark, metal dışında iki farklı elektrot arasında oluşturulduğunda, endirekt ark olarak adlandırılır. Elektron ile erimiş metal banyosu arasında oluşturulan ocak tipi ise direkt ark olarak tanımlanır. Direkt ark ocaklarının kullanımları daha yaygındır. Genel olarak 3 adet karbon elektrot bulunan bu ocak tipinde, uygulanan gerilim düşük, akım ise yüksek tutulmaktadır. Yüksek sıcaklıkta eriyen kaliteli çelik alaşımlarının ve alaşımlı dökme demirlerin eritilmesinde tercih edilir [28].

Endüksiyon ocakları, metali normal bir transformatörün birincil sargısı olarak değerlendirilebilecek bir elektrik bobini çevreler. Bu bobinden geçen alternatif akım, ergitilmek istenen iletken metalin içerisinde, ısı oluşumunu sağlayan bir endüksiyon akımı oluşturur. Bu akımın yönü girdap şeklindedir ve ergitilmek istenilen metal içerisinde homojen bir ısınma ivmesinden söz edilir. Isı direkt olarak eritilmek istenilen metal tarafından üretildiğinden dolayı çok temiz ve hızlı bir eritme gerçekleştirilir. Eritilen metal içerisinde, girdap şeklinde oluşan akım, metal alaşımında bir karışma hareketi de sağlamış olur. Bu tip ocaklar çelik, dökme demir, alüminyum alaşımları gibi farklı tipte metallerin eritilmesinde kullanılabilir [29].

Bir başka elektrikli ocak çeşidi ise direnç ocaklarıdır. Bu ocaklar, direnç üzerinden geçen elektrik akımının yarattığı ısıyı kullanma prensibine dayanır. Uygulama alanı göreceli olarak daha dar olan direnç ocakları, genellikle erime sıcaklığı düşük olan malzemeler için tercih edilirler.

#### **2.2.4. Dökümhane atıkları**

Metal döküm sanayi geri dönüştürülebilir materyallere en fazla sahip olan endüstri dallarından biri olmasına rağmen, katı, sıvı ve gaz atıklar üretilmektedir. İçeriği büyük miktarlarda kum olan dökümhane atıklarının içerdikleri kirlilik açısından, genel anlamda, inorganik karakterli oldukları gözlemlenmiştir [30].

Döküm sektörünün temel kullanılan ve üretilen elementleri aşağıda belirtilmiştir. Bir tonluk bir döküm ürünü elde edilmesi işleminde yaklaşık 0.6 ile 0.8 ton arası atık ortaya çıkar ve bu atıkların 0.4 ile 0.6 tonunu kullanılmış kumlar oluşturmaktadır. Türkiye'yi bir örnek olarak alırsak dökümhane atıklarının %65'i atık döküm kumu, %10'u cüruf,

%15'i toz-çamur (genellikle filtre tozları) ve kalan %10'u ise Refrakter, yağ, taş, boya, varil gibi atıklardan oluşmaktadır [31].

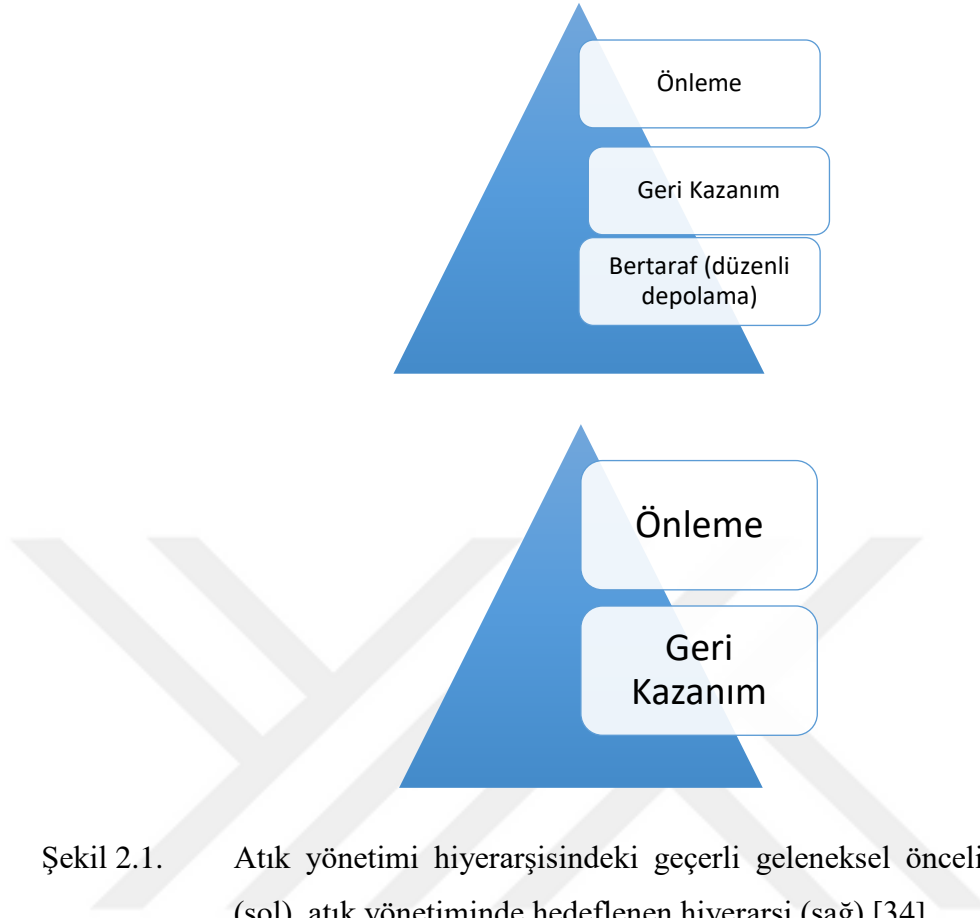
Döküm işleminin tamamını ergitme, dökme ve temizleme olarak özetlersek, bu sisteme giren elementler enerji, su, kum ve kimyasallar ile prosese dahil olan metallere oluşur. Döküm işleminin sonucunda ise döküm ürünü ile birlikte genellikle gürültü kirliliği ortaya çıkar. Organik maddeler ve metal tuzları içeren sıvı atıklar da döküm işleminin sonucunda ortaya çıkmaktadır. Enerji kaybı ise ısı, buhar ve sıcak su olarak ortaya çıkar ve atık olarak değerlendirilirler. Metal alaşımların döküm proseslerinde genellikle bir koku yayılması da mevcuttur. Hava formunda çıkan atıklar arasında ise yanma ve diğer reaksiyonlardan çıkan gazlar, çeşitli partikül maddeler ile birlikte piroliz ve buharlaşma ürünleri de gaz atıklar arasındadır. Miktar olarak en yüksek yüzdeye sahip olan katı atıklardır ve toz, kullanılmış kum, dros ve cürüflardan oluşan geniş bir yelpazeye sahiptir [32].

Tehlikeli atık yönetiminin geliştirilmesine yönelik çalışmalar, Türkiye'de 1970'lerin başlarına, Avrupa genelinde ise ikinci dünya savaşı sonrasında dayanmaktadır. Bu bağlamda tehlikeli atık yönetimi terimi, atıkları kaynağında ayırma, toplama, geçici depolama, geri kazanım, taşıma, bertaraf ve bertaraf sonrası kontrol vb. uygulamaların tümünü kapsayan bir tanımlamadır [33].

Tehlikeli atık yönetiminde temel olarak hedeflenen sonuç, güvenli, etkin ve ekonomik yollarla atıkların bertarafı, geri kazanımı veya farklı amaçlarla kullanılmasıdır.

Atık yönetimi hiyerarşisi olarak tanımlanan ve öncelik sırasını ortaya koyan bir model geliştirilmiştir ve optimum genel verim için kullanılması gereken bir tablodur. Bu hiyerarşi ilk defa "Atık Çerçeve Direktifi" ile sunulmuştur ve daha sonra revize edilmiştir. Bu direktifin 4. Maddesinde tanımlanan hiyerarşi, atık yönetiminde optimum öngörülen öncelik sırası belirlenmiş ve Şekil 2.1.'de gösterilmiştir [34].





Şekil 2.1. Atık yönetimi hiyerarşisindeki geçerli geleneksel öncelik düzenlemesi (sol), atık yönetimde hedeflenen hiyerarşi (sağ) [34].

Geleneksel atık yönetimi hiyerarşisinde, atık üretimi ve potansiyel zararının prosesin içerisinde önlenmesi/azaltılması optimum üniversal verim için en tercih edilmesi gereken yaklaşımdır. Bunun hemen ardından gelen geri kazanım yöntemleri ise ikincil öncelik arz eder. Düzenli bertaraf etmek (kimyasal nötralizasyon veya sistematik depolama yöntemleri ile) ise tercih önceliği olarak son sırada yer almaktadır. Bu hiyerarşik sıralama genel iyilik için tanıtılmıştır. Atık üretiminin kaçınılmaz olduğu birçok üretim yönteminde, üretilen atıkların geri dönüştürülmesi, tekrar kullanılması ve ikincil hammadde elde etme amaçlı işlemler ile atığın geri kazanılması veya enerji kaynağı olarak kullanılması esas alınmalıdır. Atıkların çevre dostu yöntemler çerçevesinde geri kazanımı ve döküm dışı diğer endüstrilerde ürünlere dönüştürülerek sanayi uygulamalarına aktarılması; doğal kaynakların korunması, hammadde tasarrufunun ve ekonomiye katkı sağlanması, çevrenin korunması, atık miktarının azaltılması ve gelecek için yatırım olması sebepleri ile tüm dünya için önem arz etmektedir [35].

#### 2. 2. 4. 1 Atık döküm kumu

Döküm kumu olarak nitelendirilen tanımlama, kararlı fiziksel özelliklere sahip, yüksek kaliteli silika kumdur. Termal iletkenliği olması, ergitilen metalin ısı ve basınç gibi çıktıklarına direnç gösterebilen bir yapıda bulunması ve ekonomik oluşundan ötürü döküm kumu, demir ve demir dışı döküm endüstrilerinin yan ürünü olarak yıllardır kullanılmaktadır.

En yaygın kullanılan kalıplama malzemesidir. Genel olarak 1 ton döküm için 4-5 ton kum gereklidir ve kullanılan kalıplar harcanabilir kalıp olarak nitelendirildiklerinden tamamı atık olarak değerlendirilir [36].

Döküm kumunun kimyasal ve fiziksel özellikleri, dökümde kullanılan malzeme ve süreç seçimlerine ve kaynaklandığı sanayi sektörüne bağlıdır. Genel olarak döküm kumu, yarı köşeli veya yuvarlak şeklinde ve tane boyutu dağılımı da uniformdur. Tipik olarak %85-95'i 0,6 mm ile 0,15 mm boyutlarında, %5-12'si ise 0,075 mm boyutun altındadır. Döküm kumunun özgül ağırlığı 2,39 ile 2,55 arasında olup su emme kapasitesi düşüktür. Non-plastik olan döküm kumunun kimyasal bileşimi ise, ergitilme prosesinde kullanılan metalin türüne, bağlayıcı çeşidine ve kullanılan yakıtı göre değişkenlik gösterir. Atık döküm kumu temel olarak ince film halinde yanmış karbon kaplı silika kumu, artık bağlayıcı (reçine, kömür, bentonit, kimyasal vb.) ve tozlardan oluşur. Silika kumu hidrofilik özelliğe sahiptir ve suyu yüzeyine çeker. Silika (silikon dioksit) bileşeni ortalama olarak %87.1 oranında döküm kumu kimyasal bileşiminde yer alır. Bunun yanı sıra, ergitilme işleminde kullanılan metalin cinsine bağlı olarak %5 civarında metal-oksit bileşeni içerir. Bunların dışında %1 seviyesinin altında olmak üzere kalsiyum, magnezyum, kükürt, sodyum, potasyum ve mangan gibi elementlerin oksitlenmiş bileşikleri, atık döküm kumunun yapısında bulunur.

Döküm kumunun sınıflandırılmasında kullanılan kriterlerden biri metal dökümü sırasında kullanılan bağlayıcılardır. Kum taneleri doğal fiziksel veya kimyasal etkileşimler ile bir arada duramadıklarından, kum tanelerini bir arada tutmak ve döküm esnasında ve katılma sürecinde kalıbın şeklini korumasını sağlamak gereklidir. Bu durum için çeşitli bağlayıcılar kullanılır. Genel olarak iki tür bağlayıcı kullanılmakta ve döküm kumları buna göre sınıflandırılmaktadır.

Bunlardan ilki mekanik yolla (kille) bağlanmış kumlardır (yeşil kum). Diğer seçenek ise kimyasal yolla bağlanmış kum kullanmaktır (reçineler). Yeşil kum kullanılarak elde edilmiş kalıplar kullanılarak döküm ürünlerinin %90'ı üretilmektedir. Yeşil kumun bileşimi %85-95 oranında yüksek kaliteli silika, bağlayıcı olarak %4-10 oranında bentonit kili, karbon katkısı ve sudan oluşmaktadır. Yeşil kum (green sand) en yaygın kullanılan döküm kumudur. Kimyasal bağlayıcı ile hazırlanmış döküm kumunun yapısı tamamen silika ve kullanılan bağlayıcı kimyasaldan oluşur [37].

Atık döküm kumu, çok yüksek miktarlarda üretilen bir endüstriyel atıktır. Kısmi olarak yüksek konsantrasyonlarda poliaromatik hidrokarbonlar (PAH) içeren atık kumların bazıları yüksek kanserojen etki potansiyeline sahiptir. Bu tarz kumlar hemen her döküm tesisinde zaman zaman kullanılan prosese ve materyale bağlı olarak üretilebilir. Bu tip atık kumları boş alanlara kontrolsüz bir şekilde bırakmak veya yol, inşaat malzemeleri gibi üretim proseslerinde kullanmak problemlere yol açabilir. Ancak atık kumların zararlı etkilerini elemine edebilecek teknolojiler mevcuttur. Termomekanik geri kazanım uygulamaları buna örnektir [38].

#### **2. 2. 4. 2. Atık döküm kumunun geri kazanımı**

Atık döküm kumu temelde iyi bir tutucudur. Doğal veya suni yolla üretilmiş kum kullanılan üretim veya yapı proseslerinde rahatlıkla kullanılabilirler. Bu yaklaşım bir çok inşaat sektörünü (dolgu, akıcı dolgu, sıcak karışım asfalt ve çimento karışımları gibi) ve aynı zamanda yüzey toprağı olarak ziraat uygulamalarını kapsamaktadır.

Geoteknik uygulamalar çerçevesinde yapılmış birçok araştırma ve kullanım alanında optimizasyon çalışması literatürde mevcuttur. Atık döküm kumunun sızma (liç) karakteristiklerini incelemiş ve atık döküm kumu hakkında permeabiliteleri hakkında çalışmalar yapılarak Geoteknik alanında kullanımlarına ilişkin incelemeler yapılmıştır [39].

Aynı zamanda sistematik depolama yolu ile bertaraf edilen atık döküm kumunun depolandığı sahadaki sızıntı suyunun kalite araştırmaları da mevcuttur. Atık döküm kumunun hidrolik bariyerlerde, akışkan dolgularda ve diğer Geoteknik uygulamalarda, zemin ıslahında ve zirai uygulamalarda kullanım alanları ortaya konmuştur [40].

Birçok farklı araştırma, atık döküm kumunun beton ve beton ürünlerindeki (tuğla-briket, blok, parke taşı, hazır beton) kullanımına dikkat çekmişler ve verim analizleri gerçekleştirmişlerdir. Aynı zamanda seramik ve fayans malzemeleri üretiminde kullanımına, asfalt betonlardaki uygulama alanlarına ve çimento harçlarındaki kullanımlarına ilişkin de detaylı veri analizleri yapılmıştır. Geri dönüşümü desteklemek adına döküm prosesi gerçekleştiren kurumlar, döküm kumunu geri dönüştürmeye ve üretim hatlarına geri gönderilmesine teşvik edilmektedir [41].

Karayolu inşaatları da atık döküm kumunun kullanılabilceği önemli alanlardandır. Atık döküm kumunun karayolu seddelerinde ve bitümlü asfalt karışımlarda kullanılabilir olduğunu gösteren araştırmalar mevcuttur. Aynı zamanda atık döküm kumunun ince agrera yerine karayolu seddesinde kullanılması durumunda, jeoteknik ve çevresel açıdan herhangi bir problemle karşılaşılmayacağı kanıtlanmıştır [42].

Atık döküm kumu çoğu üretim prosesleri sonucunda, toprak benzeri kalite gösteren atıklar olarak oluşurlar. Bitki besi maddeleri olan ve çalışmanın önceki bölümlerinde de bahsedilen azot, fosfat, potasyum ve kükürt gibi elementler, karbon, kil ve diğer eser elementler olan zink ve mangan gibi bileşenler, üretim topraklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine katkı sağladığı belirtilmiştir. Tarımsal toprak uygulamalarında, atık döküm kumu, toprak iyileştiricisi, kompost üretim toprağı ve yüzey örtüsü gibi kullanım alanlarına sahiptir [43].

Uluslararası endüstriyel uygulamalarda atık döküm kumu, en çok setbent yapımı ve yapısal dolgularda kullanılmaktadır. Bunu takiben, karayolu temel ve alt temel malzemesi, bitümlü asfalt karışımları, akışkan dolgular, toprak ve tarımsal uygulamalar, çimento ve beton önleyici malzeme, karlı havada kaymayı önleyici malzeme ve diğer uygulamalar olmak üzere, kullanım yüzdesi olarak azalan sırada belirtilmiştir.

Tüm bu alternatif endüstriyel uygulamalar, milyonlarca ton atık döküm kumunun geri kazanımını sağlar ve hem dökümhanelere hem de diğer kullanıcı durumundaki sanayicilere mali yönden kazanç sağlar. Yerel ve ulusal bazda çevresel fayda sağlamaktadır ve yukarıda belirtilen döküm atığı kullanım önceliğı hiyerarşisi göz önüne alındığında, döküm kumunun geri kazanımını maksimize edilmelidir [44].

### 2. 2. 4. 3. Endüksiyon ocağı cürufu

Cüruf metal ergitme proseslerinde ortaya çıkan, metal ve ametal oksitlerinden oluşan bir atık türüdür. Elektrik indüksiyonu eritme fırınları içeren proseslerde yapısı aşağıda detaylı olarak aktarılacak olan cüruf oluşumu gözlenir. Bu metalik olmayan maddeler genel olarak atık olarak değerlendirilir ancak çeşitli geri dönüşüm ve diğer sanayilerde ikincil hammadde olarak kullanımları mümkündür. Cüruf oluşumu birçok farklı kaynaktan gerçekleşebilir. Kullanılan spesifik prosese ve kullanılan metal tipine bağlı olarak, cürufun kompozisyonunda farklılıklar gözlenir. Elektrikli fırınlarda gözlenen cüruf oluşumu, silika, kullanılan metal parçalardan gelen oksitlenmiş metaller, eritme olayında meydana gelen diğer oksitlenmiş elementler ve refrakter bileşenleri arasında gerçekleşen kompleks reaksiyonların bir sonucu olarak gözlemlenir. Sonuç olarak ortaya çıkan ürün, cüruf, kompleks bir sıvı faza sahip olur ve bu faz demir oksit, mangan oksit, magnezyum oksit ve silikon, silikattan oluşmaktadır. Bunların yanı sıra alüminyum oksit, kalsiyum oksit ve çeşitli sülfat bileşikleri ile birlikte, nadir toprak oksitleri ve sülfürleri de cüruf kompozisyonunda rastlanan bileşenlerden başlıcalarıdır. Ocak içerisinde ergitme sırasında açığa çıkan ocak cürufu, döküm metalinden daha hafif olduğu için karışımın üzerinde yüzer ve sistematik olarak yüzeyde toplanan bu cüruf, sistemden uzaklaştırılarak toplanır. İndüksiyon fırınlarında, kupol ocağı veya ark fırınlarına oranda belirgin şekilde daha az ocak cürufu oluşur. Eritilen her bir ton metal için 20 kg ile 80 kg ocak cürufu oluşur ancak bu miktar endüksiyon fırınlarında 10-20 kg arasında değişmektedir. Bunun sebebi ise, elektrik ile çalışan fırınlarda yanıcı maddeler ile birlikte sisteme giren yabancı elementlerin olmayışıdır [45].

Temel olarak cüruf, zararsız bir atık olarak sınıflandırıldığı için açık alanlarda sistematik olarak depolanmasının önünde bir engel yoktur. Ancak atık olarak taşınması ve bertaraf edilmesi ekonomik olarak verimsiz olduğu ve büyük alanlar gerektirdiği için potansiyel kullanım alanları oluşturulmakta ve araştırılmaktadır. Ancak ekonominin diğer branşlarında kullanılmadan önce, cürufun içeriği detaylı şekilde test edilmelidir. Farklı proses ve malzeme kullanımlarına bağlı çeşitli atık cüruf kompozisyonları mevcut olmaktadır [46].

Elektrik kullanılan eritme fırınlarında genel olarak toplam metal kütlelerinin %15'i kadar cüruf üretir ve bu atık madde zararsız atık olarak sınıflandırılır. Büyük kütlelerde ortaya

ıkan cürufun bertaraf edilmesi geniş alanlar gerektirir ve ekonomik olarak da verimsizdir. Cürufların potansiyel olarak farklı proseslerde kullanılması yaygınlaşmaktadır. Zirai amaçlarda cüruf, inorganik toprak zenginleştirici olarak ve inşaat mühendisliğinde ise çimento ve yol yapım ürünlerine yardımcı katkı olarak kullanılabilmektedir [47].

#### **2. 2. 4. 4. Kupol ocağı cürufu**

Döküm endüstrisinin karakteristik bir yan ürünü olarak ortaya çıkan cüruf, atık döküm kumu bir yan ürün olarak değerlendirilmediğinde, %80 civarında bir oranla kütleli olarak en büyük paya sahiptir. Oluşan yan ürünlerin en büyük kısmını oluşturan cüruflar, atık olarak değerlendirilir ve büyük çoğunlukla bertaraf edilir (sistemik depolama). Çeşitli arazilerde toplu olarak depolanan cüruflar, kısa süreliğine de üretici tarafından tesislerde depolanabilir. Birçok cüruf çeşidinin birbirine bileşim olarak benzemesi gibi, kupol ocağı cürufu ve alevli fırın cürufları birbirine moleküler olarak oldukça benzerler. Ancak yanıcı madde kullanımı elektrikli fırınlarda kullanılmadığı için, bu tip cüruflar, indüksiyon ocağı cüruflarına oranla daha komplekstirler. Kupol ocağı cürufu büyük oranda (%20-50) kalsiyum oksitten oluşmaktadır. Bununla eşdeğer bir başka bileşen ise (%25-55) silikon dioksittir. Bunun yanı sıra %1-15 arasında demir oksit ve kullanılan malzemeye göre %5 ila %20 arasında alüminyum oksitler yer alır. Mangan oksit ise yine yukarıda belirtildiği gibi kullanılan bileşenlere ve seçilen procese göre farklılık gösterir ve cüruf içerisinde mangan oksit şeklinde %0.5 ile %30 arasında yer alabilir. Kupol ocaklarında pH dengesi, bazik ve asidik olabilecek şekilde, farklı değerlerde olabilir. Bu da geri dönüşüm veya diğer sanayilerde kullanılabilecek olan cürufun karakterini belirler. Asidik kompozisyona sahip kupol ocağı cürufları özellikle silikat içeriğinden oluşur. En sık gözlenen mineral çeşitleri ise silikon dioksit, alüminyum ve diğer metal oksitleri ile kalsiyum oksit tepkimelerinden ortaya çıkan minerallerdir.

Kimyasal özelliklerinin yanında, ortaya çıkan cürufun toplandıktan sonra ne gibi bir processten geçirildiği de, son ürünü etkilemektedir. Buna örnek olarak soğutarak saklama verilebilir. Soğutmanın hızı ve diğer özelliklerine bağlı olarak, azalan veya çoğalan spesifik kristalleşmeler gözlenebilir. Sonrasında geri dönüşüm için önemli olan taşlama işlemini etkileyen faktörlerin başında cürufun içerisinde bulunan kristalleşmiş bölüm ile

camsı kısım arasındaki değişken orandır ve bu oran soğutma yöntemi ile birebir bağlantılıdır. Önemli bir nokta olarak, bu çeşit cüruflar metalürjik kullanım veya geri dönüşüm için uygun değillerdir ve metalürji dışındaki alanlarda kullanımları yaygındır.

Dünyanın hemen her yerinde, ocak cürufları atık olarak değerlendirilip, belirlenmiş alanlarda toplu olarak bertaraf edilmektedir. Ancak araştırmacılar cürufun birçok etkin özelliğini keşfetmişler ve çevre açısından çok daha yararlı yöntemler sunmuşlardır. Bazı ülkelerde toplanan cüruf, yüksek kalitede karayolları inşaatları yapımında ve bazı bölgelerde ise inşaat sektöründe çeşitli uygulamaları mevcuttur. Beton yapımında cüruf kullanımı, geçtiğimiz on yılda oldukça popülerleşmiştir [48].

Örneğin amerikada ‘‘Portland Cement’’ (Portland çimentosu) olarak patenti alınmış bir çimento türü vardır ve içeriğindeki kupol ocağı cürufu özel olarak belirtilerek patent belgesine işletilmiştir. Cürufu çimento karışımı doğal çimento ile metal eritme atık maddesi olan cüruftan oluşur ve öğütölmüş olarak kullanılır. Çok küçük boyutlara indirilmiş cüruf elde etmek için genel olarak hızlı soğutma işlemi uygulanır. Suya batırılma veya su püskürtme eylemlerine sıkça başvurulur ve hızlı bir şekilde katılaştırılan kupol cürufu öğütölür. Çimento hammaddesine ortalama %35 oranında karıştırılan cüruf, daha güçlü ve sert çimento elde edilmesini sağlamaktadır. Kupol ocağı cürufunun bu şekilde kullanılması hemçevre açısından hem de genel ekonomi için oldukça pozitif bir durumdur. Aynı zamanda daha güçlü ve sağlam çimento geliştirerek, farklı yapılarıdaki çeşitli çözümlere de ortak olmuştur. Aynı zamanda cüruf kullanılan yapı malzemelerinde, sülfat ataklarına ve alkali silika reaksiyonlarına karşı daha yüksek bir direnç oluşumu söz konusudur. Benzer nedenlerden ötürü kupol ocağı cürufu, yüksek kalitede karayolları yapımı için de kullanılan bir materyal haline gelmiştir [49].

Çelikhane cürufları dünyanın çeşitli yerlerinde, farklı amaçlar doğrultusunda kullanılarak, hem hammadde kaynaklarının tükenmesi, hem toprak kirliliği hem de ekonomik verimlilik için büyük etkisi olan cürufun kullanılması sağlanmaktadır. Beton ve çimento yapımı, bitümlü agrega gibi karıştırılarak yüzey işlemlerinde kullanılmaları, araçlar için karda ve buzda kaymayı önleyici malzeme olarak kullanılması bunlara örnektir. Aynı zamanda asfaltsız yollar ve tren yolları yapımında da kullanılmaktadır. Siper agregası ve drenaj malzemesi olarak kullanılabilceği gibi, yalıtım ve dolgu malzemesi olarak da oldukça etkili cüruflar mevcuttur [19].

Demir bileşikleri bitkiler için oldukça önemlidir ve klorofil gibi önemli bileşiklerin yapı taşları olarak sayılırlar. Bitkilerin yeterince demir alamaması sonucu kloroz (sarılık) hastalığı meydana gelir ve genellikle toprakta yeterince demir alamaması durumlarında karşılaşılır. Demir içeriği yüksek olan ark ocağı cüruflarından elde edilen gübreler kullanılarak yapılan çalışmalarda, cüruf içeriğinin bitki topraklarında, kontrollü oranlarda olması şartı ile, pozitif yönde etkisi olduğu saptanmıştır [50].

Geçmişte demir ve diğer metallerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan cüruf, diğer endüstrilerde ikincil hammadde olarak kullanılmak üzere, günümüzdeki kadar çekici değildi. Yüksek miktarlarda üretilen maden ocaklarından elde edilen cüruflar kullanılması tercih edilmekteydi. Ancak yapay bir dölleme aracı olarak çelik üretiminden çıkan ocak cürufları kullanılmakta idi. Bu tür cüruflar ancak fosforlu ham demir kullanılan çelik sanayinde mevcuttur. Yüksek demir ve metal oranı içeren ocak cüruflarının içerisinde bulunan demir veya metal ayrıştırılıp ayrıldıktan sonra, kalan atık tamamı açık alanlara bertaraf (sistemik depolama) edilmekte idi. Günümüzde elektrikli ocakların yaygınlaşması ile birlikte gelen çelik ve metal sanayi sayesinde ocak cürufu kullanımı gündeme gelmiş ve yavaşça maden ocağı cüruflarının yerini almıştır [32].

Metalik içeriği zengin olamayan veya ayrıştırılmış cürufun inşaat sektöründe büyük bit yeri vardır. Aynı zamanda ucuz bir sönümleyici/yalıtım malzemesi olarak kullanımı da mevcuttur. Elektrik ocaklarından oluşan cüruf aynı zamanda, metalik iyonları kullanarak su iyileştirilmesinde de kullanıldığı literatüre geçmiştir [51].

### **2.2.5. Maça atıkları**

Maça atıkları olarak tanımlanan atık çeşidi, maça kumu olarak da bilinmektedir. Kalıbın içerisinde, boşluklar veya girintiler yapmak amacı ile kullanılan maçalar, genel olarak harcanabilir kum materyallerden yapıldıklarından, maça kumu yaygın bir atık çeşididir. Yapısında farklı reçineler ve kumlar bulunabilir. Maça kumu ana element olarak silika olmak üzere organik bağlayıcılardan ve katalizörlerden meydana gelmektedir. Avrupa birliği başta olmak üzere dünyanın hemen her yerinde bu çeşit kumlar zararlı atık olarak değerlendirilmektedir [13].



Ağır metaller ve organik kirletici maddelerin bulunduğu maça kumu toprağa ve havaya karışabildiği gibi, tekrar kullanılmak üzere geri dönüştürülebilirler, farklı üretim proseslerinde de ikincil ham madde olarak kullanılabilirler. Toprağa ve havaya karışan maça atıkları, özellikle tek kullanımlık maça kumları, toprağın kimyasal yapısını ekosistem için negatif sonuçlar doğuran bir yönde değiştirmektedir. Geçtiğimiz yıllarda teorik olarak hesaplanan ve doğaya salınan atık kum miktarı, 6 ile 10 milyon ton arasındadır [52].

Maça ve kalıp kumları, bağlayıcı araçlar kullanılarak bir arada tutulur. Bentonit kili veya organik reçineler kullanılabilir. Maça kumlarında kullanılan bağlayıcılar doğal killer olduğunda (örneğin; sodyum veya kalsiyum bentonit), bu çeşit kum yaş kum olarak adlandırılır. Yaş kumlara başka diğer bağlayıcı etmenler eklenebilir. Maça kumlarında en çok kullanılan bağlayıcılar organik reçinelerdir. Bu reçineler genel olarak fenolik üretan, furan, ve diğer ticari olarak üretilmiş karışımlardır (örneğin Novolac). Bunların dışında protein bazlı tutucular, yağlar (örneğin keten tohumu ve soya), nişasta benzere polisakkaritler de maça kumu hazırlanmasında kullanılan organik tutuculardır. Kullanılan maça kumları, bazı döküm tesislerinde yeni maçalar yapmak için kullanılsa da, bir noktadan sonra sistemden çıkartılarak yeni kum karışımı ile değiştirilir. Atık olarak değerlendirilen bu reçineli kumlar kontrolsüz bir biçimde arazilerde depolanır. Döküm tesislerinde ve kontrollü arazilerde depolama da uygulanan yöntemlerdir. Yüksek vergiler dolayısı ile kontrol altında tutulan arazilere atık kum depolama işlemleri, ekonomik olarak, döküm proseslerinde ekonomik bir yük olarak karşılaşılan bir durumdur. Kontrolsüz olarak arazilerde depolanan atık kumu miktarı, diğer yöntemlere göre en çok tercih edilenidir. Bu tip depolama, yeraltı suları ve toprak içerisindeki ekosistemi yüksek bir potansiyelde kirletmektedir [53].

Bertaraf etme işlemleri ve regülasyonları ülkeler arasında ve ülke içerisinde de tesisler arasında fark etmektedir ve atık kumların büyük bir çoğunluğu doğaya tehlikeli olarak tanımlanmaz [54].

Arjantin, Brezilya, Güney Afrika ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde atık kumların Geoteknik uygulamalarda kullanılmalarına ilişkin yüksek bir efor söz konusudur. Asfalt yapımında, çimento kompozisyonu içerisinde ve yollarda alt zemin hazırlamak amaçlarında maça kumu kullanılması bugün sanayide mevcuttur. Bunların

yanında zirai uygulamalarda da (yetiştirme toprağı üretimi gibi), maça kumlarının kullanıldığı prosesler mevcuttur.

Doğada yarattığı negatif sonuçların ötesinde, maça kumu bir çok alanda ikincil hammadde olarak kullanılabilir. Bunlardan en önemli üretim proseslerinde biri ise, %35 yaş kum ve %25 oranında maça kumu kullanılması ile elde edilen tuğlalar, geleneksel tuğlaların kalitesini yakalamaktadırlar. Özel amaçlar için kullanılması planlanan farklı tuğla veya yapı malzemesi yapımı üzere, çeşitli niteliklerde kum malzeme üretilmesi mümkündür [55].

Atık kumların diğer sanayilerde kullanılması, ekonomik açıdan verimli ve yararlıdır. Aynı zamanda ham materyallere olan talebi düşürdüğü gibi, enerji korunmasında ve sera etkisi yaratan gazların emisyonunda da düşüğe yol açtığı ortaya konulmuştur. Kontrollü veya kontrolsüz olarak depolama yöntemleri ile bertaraf etmekten ekonomik olarak daha verimli olan bu kullanımlar, çevresel olarak da uzun vadede oluşacak büyük sonuçları engellemektedir. Tüm bu yararlı etkilerinin yanında, birçok uygulayıcı atık kumların yararlı bir şekilde kullanılmasına güvensiz yaklaşmaktadır. Bu güvensizliğin en büyük nedenlerinden birisi ise tutarsız içeriğe sahip atık kumların içerikleri hakkında sürekli bir bilgi akışının olmamasıdır.

#### **2.2.6. Filtre tozları**

Filtre ünitesi tarafından küçük parçalı kompozisyona sahip tozları kapsayan atık çeşididir. Gaz toplanması ve temizlik işlemleri sırasında, metal döküm tesislerinde ortaya çıkar. Filtre üniteleri birçok kumaş katmanından oluşan bir yapıya sahiptir ve metal ergitme, döküm gibi farklı prosesler sırasında oluşan tozları toplar. En yaygın kullanım şekli ile siklon şeklinde bulunurlar ve kaba partikülleri ilk etapta yakalayabilmek için toplama cihazları kullanılabilir. Bir filtre tesisine sahip olmayan döküm tesisleri genellikle ıslak fırçalar kullanarak hava emisyonunu kontrol ederler. Havaya karışan tozların büyük çoğunluğu karıştırma eyleminin verdiği titreşim hareketlerinden kaynaklanır. Döküm ürünü ile temasta olan kum kalıpların ve maçaların ve kum taşıyıcı sistemlerin de atık tozu oluşumunda etkileri söz konusudur. Örneğin, yaş kumdan yapılmış kalıpları titreşen bir karıştırıcı sistem üzerine yerleştirmek yüksek miktarda silika tozunun salınmasına yol açar.

Filtre tozları kütleli olarak, katı döküm atıkları arasında en küçük miktara sahip olmasından dolayı bilimsel araştırma ve geri dönüşüm üzerine detaylı çalışmalara henüz önem verilmemiştir. Ancak oluştukları kimyasal yapı yüksek oranda bilinmekte ancak buna nazaran kimyasal kompozisyonun fiziksel özellikleri genelleştirilmemiştir. Gözlemsel olarak çok küçük partikül yapısına sahiptir ve koyu gri renkte oluşur. Oluşumları gerçekleşen killi toprak-toz karışımı ergitme prosesi kompartımanlarının fiziksel yapılarıyla benzerdirler.

Filtre tozunun kimyasal yapısı silika, kil, reçine yapısındaki buharlaşan elementler ve metal tozu şeklinde tayin edilmiştir. İçerdikleri kimyasal bileşikler, filtre tozunun toplanma biçimi ile değişiklik gösterir. Karıştırma fazında toplanan atık toz genellikle silika ve kilden oluşur. Bunun yanı sıra metal tozu, temizleme, taşlama ve eritme proseslerinde karşılaşılan toz atık türüdür [56].

### **2. 2. 7. Refrakter atıkları**

Yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen ergitme prosesleri sırasında, metal olmayan refrakter materyaller, fırınların içlerinde kullanılır. Refrakter materyalleri, kimyasal ve fiziksel olarak, yüksek sıcaklıklarda stabil kalırlar ve termal şoklara karşı direnç gösterirler. Alüminyum oksit, silikon oksit ve magnezyum oksit en yaygın refrakter üretim materyalleridir. Ateş tuğlası ve seramik gibi materyaller de döküm sektöründe en yaygın olarak kullanılan materyallerdir. Silikon karbit ve grafit en yaygın döküm sanayi refrakter malzemeleridir. Oksijenle temas etmeden kullanılması gereken bu materyaller, belirli bir kullanım ömrüne sahiptirler ve sonrasında atık olarak değerlendirilirler.

Döküm sanayinde kullanılan refrakter malzemeler, kullanım ömürlerinin sonuna geldiklerinde, yen, malzemelerle değiştirilirler. Kullanılan yeni materyaller, el değmemiş hammaddeden elde edilirler ve eski refrakterler atık olarak arazilerde bertaraf edilir. Bu çeşitte bir yaklaşım, hem doğal kaynakların kullanılması açısından verimsiz hem de çevre açısından negatif sonuçlar doğuran bir uygulamadır. Birçok döküm tesisi, refrakter atıklarını ayrı olarak rapor etmezler ve diğer zararsız atıklar ile birlikte değerlendirirler. Ancak refrakter atıkların çok büyük bir kısmı arazilerde kontrolsüz olarak depolanmaktadır [32].

Refrakter atıklar, genel döküm prosesinde toplam katı atıkların %10 undan az bir paya sahiptir ve ekonomik ve çevresel etkileri üzerine ayrıntılı çalışmalar mevcut değildir. Hem çevresel olarak zararsız sayıldıklarından hem de miktarlarının azlığı dolayısı ile bertaraf edilmelerinin ekonomik olması sebepleri ile düzenli depolanmaları ve yenileri ile değiştirilmeleri yolu izlenir. Ancak bazı döküm işletmeleri kullanılmış refrakter materyallerini geri dönüştürerek farklı alanlarda kullanılmaktadırlar. Böylece toplam atıklarını da minimize etmiş olurlar. Farklı refrakter malzemelerine uygun olarak farklı işlemler gerekse de genel olarak refrakter malzemenin geri dönüştürülüp kullanılmasında genel bir proses izlenir. Refrakter atığın sınıflandırılması en önemli adımlardan bir tanesidir. Farklı atıkları birbirine karıştırmadan ayrılan malzemeler, daha sonraki üretim prosesi için kolaylık ve ekonomik kazanç sağlamaktadır. Refrakter yüzeyine bulaşmış veya kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşmuş metal, cüruf, ve diğer kirliliklerden arındırmak amacı ile refrakter atıklar ezilerek homojenize edilirler. Uygun boyutlara getirilen refrakter atık, kullanılmak istenilen ana malzemeyi ayırmak için kontrol edilir. Manyetik ayırma, kaplama, yüzdürme ve özkütlesel ayırım kullanılan diğer yöntemlerdendir. Bu yöntem çeşitliliği, atık içeriğine bağlı olarak gelişmiştir.

Yukarıda özetlenen refrakter malzemeler tuğla, asfalt, çimento ve farklı yapı malzemeleri yapımında ve aynı zamanda cam endüstrisi ve alüminyum işleme tesislerinde farklı amaçlarla kullanılabilirler.

### **2. 2. 8. Döküm talaşı**

Döküm sanayinde kullanılan tornalama, öğütme, frezeleme gibi bir çok işlem, mekanik talaş oluşmasına sebep olur. Döküm prosesi süresince oluşan farklı karakterlerdeki talaşlar, hurda olarak satılmak, eğitilerek tekrar kullanılmak gibi farklı amaçlar için kullanılırlar. Talaşlar döküm proseslerinin atıklarıdır ancak atık olarak değerlendirilip bertaraf edilmek yerine, genel olarak tekrar değerlendirilirler.

Tekrar kullanılmaları veya satılmaları söz konusu olan bu tip atıkların bazı dezavantajları mevcuttur. Talaş haline gelmiş materyalin birim ağırlığı, katı hurdadan dört kat daha azdır. Dolayısı ile talaşların depolanması ve taşınması için büyük konteynerlere ve alanlara ihtiyaç duyulur. Bu konteynerlerin bulundurulması ve taşınmaları ekonomik olarak etkili değişkenlerdir. Talaşların saklanması ve çevreye zarar vermemeleri açısından önlemler de alınması gerektiği için, zaman zaman bu tip

işlemler ekonomik olarak verimsiz bir sürece dönüşmektedir. Şebeke suyunu kirletmemek amacı ile sızdırmaz konteynerler kullanılmalıdır. Talaşların yüzey alanları fazla olduğu için, talaş değerini ve miktarını düşüren korozyon hızı yüksektir. Emülsiyon içeren talaşlar, yüksek korozyon hızına bağlı olarak, saklanamazlar. Aynı zamanda ıslak ve nemli olarak elde edilen talaşlar öncesinde bir takım işlemler görmeden tekrar dökümhanelerde kullanılamazlar. Boyut olarak küçük olduklarından işleme tutulan daha sonra da kurutulan talaşlar, katı hurda kadar yüksek kalitede elde edilemezler. Eritme üniteleri talaşları eritme amacı ile kullanılmak üzere uyarlanmazlar ise, eritilemezler veya sürecin devamında farklı problemlere yol açabilirler [43].

### **2. 2. 9. Taşlama tozları**

Döküm sanayinde kalıplama tekniğinden ve oluşan kum kalıbın gevşekliğinden kaynaklanan ve kalıplama sırasında mala yüzeyi arasının fazla geniş olmasından ve bazende maçalı işlerde maça başlarında ince kesitlerde metal sızıntısı ile bir miktar çıkıntısı oluşur bu çıkıntıları gerçek ölçülere yeniden getirmek için kendisinden daha sert metal ve ametal karbürü içeren taşlarla sürtülmesiyle istenilen ölçülere getirilmesi işlemine taşlama denir. Taşlama sırasında yontulan daha düşük sertlikte olan ana metalin tozlarında taşlama tozu denir. Taşlama tozları üretilen metalin içeriğine göre değişik kimyasal kompozisyonlarda bulunabilir. Örneğin lamel grafitli dökme demir üreten dökümhanelerde %2.5-4 arasında karbon %1-3 arasında silisyum ve bazı durumlarda %0.5 -1 arasında bakır ve diğer elementler de daha düşük miktarlarda bulunabilir küresel grafitli dökme demirde ise bunlara ek olarak %0.040 dan fazla magnezyum bulunur. Çelik üreten fabrikalarda ise karbon oranı ise %0.1 ile 2.1 arasında silisyum %1 e kadar ve bulunmakla beraber üretim çeşitlerine göre krom nikel molibden titanyum mangan ve diğer özel alaşım elementleride bulunabilir öncelikle atığın çıktığı fabrikanın üretim süreçlerindeki yüzdeler belirlenip optik emisyon spektrometresinde veya analiz cihazlarından yapılan üretim sonuçlarına göre içerik belirlenebilir. alaşım elementleri bazı durumlarda %0.1 den %50 lere varan değişimler göstermektedir küresel ve lamel grafitli dökme demir üreten dökümhanelerde ise maksimum %5-10 arasında taşlama tozlarında küresel ve lamel grafitli dökme demir üreten dökümhanelerde geri kalan ana metal ise %90 demir içermektedir endüstride pek bilinmeyen bir atık olmasına rağmen gelecekte bazı proseslerin ana malzemesi olabilecek niteliktedir.

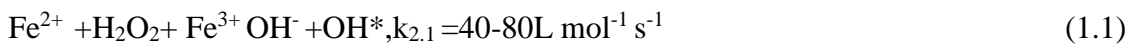
## 2. 3. İleri Oksidasyon Yöntemi İle Atık Su Arıtımı

İleri oksidasyon yöntemleri arasından en etkili ve modifikasyon esnekliği fazla olan giderim yöntemi olarak Fenton ve Fenton benzeri prosesler güncel olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında da Fenton prosesinin hızlı arıtım özelliğinden yararlanılarak prosesin gerçekleşmesinde etkin rol üstlenen demir metali yerine kullanılabilir artık materyaller için deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Bu kapsamda Fenton prosesi ve reaksiyona etki eden parametreler için aşağıda bazı literatür değerlendirmeleri verilmiştir.

### 2. 3. 1. Fenton prosesi

Fenton ve ilişkili reaksiyonlar, peroksit bileşenleri (çoğunlukla hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ile demir iyonlarının reaksiyonları sonucu ortaya çıkan ve organik veya inorganik bileşenleri oksitleyen aktif oksijen çeşitlerini ortaya çıkaran reaksiyonlardır. Fenton reaksiyonu, H. J. H. Fenton tarafından 1894’de keşfedilmiştir ve Fenton araştırmasında, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ‘in demir tuzları tarafından aktive edilerek tartarik asidi oksitlediğini belirtmiştir [57]. Geride bıraktığımız son birkaç on yılda, -OH reaksiyonlarının katkısı ve değeri anlaşılmış ve 1700’den fazla hız sabiti, organik ve inorganik bileşenler ile –OH reaksiyonları için tanımlanmıştır [58]. Yakın geçmiş zamanda, atık suların temizlenmesi, birçok zararlı organik maddelerin atık sulardan ayrıştırılması için fenton reaksiyonu aktif bir şekilde atık su arıtımında kullanılan bir proses haline gelmiştir [59,60].

Fenton reaksiyonlar mekanizması geleneksel olarak kabul edilmiş ve bu mekanizmanın denklemi (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8) ve (9) da sunulmaktadır. Bununla birlikte bu reaksiyon sabitleri edebiyatımıza farklı kaynaklar tarafından ispat edilerek yeniden kazandırılmıştır [61]. Genel anlamda bu denklem (1), Fenton reaksiyonu olarak bilinir ve demir içerikli bileşiğin oksitlenmesi ile demir iyonunun hidrojen peroksit bileşiğini, hidroksil radikallerine ayrıştırmasını işaret eder.



### **2.3.2 Fenton prosesi etkileyen faktörler**

Fenton prosesi etkileyen faktörler;  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $H_2O_2$  konsantrasyonları, pH, sıcaklık ve organik ve inorganik kirleticilerin miktarıdır. Bu sebepler reaksiyon verimini belirtir.

#### **2.3.2.1. pH**

Fenton prosesle birlikte işletme pH' ı kirleticilerin parçalanmasında etkin bir ölçüttür. [62,63]. Daha sonra fenton prosesle yapılan çalışmalarda, genel olarak uygun değer pH olarak bulunmuştur. [64]. Daha düşük pH'larda ise  $[Fe+2(H_2O)]^{+2}$  oluşumu ortaya çıktığından, daha az hidroksil radikali üretilmektedir. Fakat  $pH > 4$  olması halinde  $Fe^{+2}$  komplekslerinin oluşumu sebebiyle parçalanma hızı azalır.

#### **2.3.2.2 Demir iyonu konsantrasyonu**

Parçalanma hızı demir miktarı artmasıyla birlikte artar. Fakat, belli konsantrasyonun üzerinde parçalanma hızı oldukça azdır. Bununla birlikte, fazla demir kullanıldığı için çıkışta çözülmüş veya askıdaki demir miktarı artmaktadır.

#### **2.3.2.3. Hidrojen peroksit konsantrasyonu**

Genellikle kirleticilerin parçalanma hızı hidrojen peroksit konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak artar [19]. Fakat hidroksil radikalleriyle, çok fazla miktarda hidrojen peroksit konsantrasyonu durumunda reaksiyona gireceği için pek fazla önerilmez. Hatta fazla hidrojen peroksit konsantrasyonu  $KOI$ 'nin artmasına da yol açar.

#### **2.3.2.4. Sıcaklık**

Fenton prosesin'de diğer önemli ölçüt sıcaklıktır. Bununla beraber yapılan bir çalışmada  $30\text{ }^{\circ}C$  sıcaklık optimum olarak tespit edilmiştir. [65]. Hatta sıcaklığın  $10\text{ }^{\circ}C$ 'dan  $40\text{ }^{\circ}C$ 'ye yükselmesiyle parçalanma veriminin farklılaşmadığı, buna bağlı olarak da  $40\text{ }^{\circ}C$  üzerinde hidrojen peroksitin su ve oksijene parçalanmasının artması sebebiyle soğutma işleminin yapılması gerektiği belirtilmiştir [20].

#### **2.3.2.5 Kirletici konsantrasyonu**

Genel olarak daha düşük kirletici konsantrasyonu uygun olur. Çoğu zaman endüstriyel atık sular için Fenton prosesiyle oksidasyondan önce seyreltme yapılması gerekir.

Baktığımızda, Fenton prosesle *p*-klorofenolün oksidasyon karakteristiğinin araştırıldığı çalışmada, Fenton prosesle *p*-klorofenolün parçalanma veriminin oldukça azaldığı bulunmuştur. Bunun sebebi *p*-klorofenolün parçalanma ürünü olan klor iyonunun 50 mM olmasından kaynaklanmıştır [66].

### 2.3.2.6 Tamponlayıcı tipi

Tamponlayıcı tipine bakarsak eğer, pH ayarlamada kullanılan tamponlayıcının tipi de oldukça önemlidir. En az verim fosfat ve sülfat tamponu verirken, en yüksek oksidasyon verimini asetat tamponu ile verilir [67].

## 2. 4. Fenton Prosesinin Varyasyonları

### 2.4.1 Foto-fenton proses

$Fe^{+2}$ ,  $H_2O_2$  ve UV ışınının kombinasyonu fotofenton proses olarak adlandırılmaktadır. Fenton prosese göre foto-fenton proses, daha fazla hidroksil radikali üretir ve organik kirleticinin bozunma hızını ve mineralizasyonunu kayda değer bir şekilde artırır.

Daha sonra Fotokimyasal olarak  $Fe^{+2}$ 'ye indirgenen ve Fenton reaksiyonlarında tekrar  $Fe^{+3}$ 'e yükseltgenen demir iyonlarının çevrimi sebebiyle daha az  $Fe^{+2}/Fe^{+3}$  iyonuna gereksinim duyulur. [68].



Ayrıca, Foto-fenton reaksiyonlar 400 nm'ye yakın fotonları kullanabilirler.

### 2.4.2 Elektro-fenton proses

Yakın zamanlarda, elektrokimyasal teknolojilerin atık su ve su arıtımı uygulamalarında yükseliş görülür. Bunun yanı sıra, Elektro kimyasal proses, iki oksidasyon faaliyetine sahiptir: Bunlar direkt ve endirekt oksidasyondan oluşur. İndirekt oksidasyon elektrokimyasal proseslerde oluşan güçlü oksidantlarla gerçekleşirken, direkt oksidasyon anodik yüzeylerde meydana gelir [69]. Ayrıca, elektro-fenton yönteminde, katodik oksijenin indirgenmesi ile elektrokimyasal hidrojen peroksit meydana getirilir ve  $Fe^{2+}$  iyonunun eklenmesiyle oksidasyon gerçekleştirilir.





Bu reaksiyon, süperoksit anyonik radikal ( $O_2^-$ ) ve hidroperoksit radikal  $HOO\cdot$  oluşumunu içeren kompleks bir reaksiyondur. Diğer kimyasal proseslere göre elektrofentonhidroksil radikallerinin daha kontrollü üretimi gibi bir avantaja sahiptir. Bununla birlikte  $Fe^{+2}$  iyonlarının birlikte oluşması hidrojen peroksitin sürekli üretimi ve  $Fe^{+3}$  iyonunun katalitik imdi ey dinmesinden kaynaklanır. Bu da daha fazla hidroksil radikali üretimini sebep olur. Hatta reaktifin minimize edilmesi, işletme maliyetinde azalma sağlar. Buna bağlı olarak bu teknolojinin ekonomik fizibilitesi artar.

## **2. 5. Fentonun Kullanım Alanları**

### **2.5.1 Alifatik ve aromatik bileşiklerin oksidasyonunda**

#### **2. 5. 1.1 Fenol ve türevleri**

En çok endüstriyel atık sularda (petrokimya, boya, kâğıt, tekstil, kimya endüstrileri) bulunan kirleticilerdendir. Fenol ve fenol türevlerine endüstriyel atık sularda çok fazla rastlanmaktadır. En önemlisi kömür işletmelerinin kömür destinasyon ve organik sentezlerin atık akımları çok fazla fenol ve türevlerinin kirliliğini içerir. Ayrıca fenolik bileşikler kâğıt hamuru ve kâğıt ağartma tesisleri, reçine pestisit, insektisit, boya, çözücü endüstrileri atık sularında da yer alır. Bunun yanı sıra fenol, klorofenol, nitrofenol ve 2,4-dinitrofenolün fenton ile oksidasyonundaki kinetikleri için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [15,70,71]. Sentetik atık suyu 2,4-diklorofenol organik maddelerini içerir. Daha sonra fenol bu sentetik atık suyun ileri oksidasyon prosesleri UV/ $H_2O_2$  Fenton ve Foto-Fenton ile arıtılabilirliğinin incelendiği çalışmada, fenol içeren atık suların arıtımında fenton prosesinin çok fazla etkili olduğu ve 120 dakikalık reaksiyon süresinde fenol parçalanmasının komple gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Foto-Fenton prosesi, fenolün tamamen parçalanabilmesi için oldukça gereklidir. Bunun aksine fenolün tamamen parçalanabilmesi için gerekli olan süre Foto-Fenton prosesi ile 2,5-5 dakikalık reaksiyon süresine düşürülmüştür [58].

#### **2.5.1.2 Patlayıcılar**

2,4,6-Trinitrofenol (PA), amonyum pikronitrat (AP), 2,4-dinitrotoluen (DNT), methyl-2,4,6-trinitrofenilnitramin (Tetrit), and 2,4,6-trinitrotoluen (TNT) I. Dünya savaşında kullanıldılar ve heterosiklik nitramin (heksahidro-1,3,5-trinitro- 1,3,5-triazin, RDX ve

oktahidro-1,3,5,7-tetranitro- 1,3,5,7-tetrazosin, HMX) ise II. Dünya savaşından sonra geliştirildiler. Ayrıca bu patlayıcılar, suda ve karada yaşayan organizmalara toksik etkide bulunur [51]. Hatta patlayıcıların oksidasyonunda fenton proses, iyi bir yöntem olarak göze çarpar. 2,4- dinitrotoluen (DNT), 2,4,6-Trinitrofenol (PA), amonyum pikronitrat (AP), 2, 4, 6-trinitrotoluen (TNT), metil-2,4,6-trinitrofenilnitramin (Tetrit), heksahidro-1, 3, 5-trinitro-1, 3, 5-triazin (RDX), oktahidro-1, 3, 5, 7-tetranitro-1, 3, 5, 7-tetrazosin (HMX) gibi patlayıcıların Fenton prosesle okside edilebilirliğinin incelendiği bir deneyde, parçalanma oranı sırasıyla % 93, % 88, % 81, % 36, % 29, % 18 ve % 6 olarak tespit edilmiştir [42].

### **2.5.1.3 Anilin**

Petrol, kâğıt, kömür ve kimya endüstrilerinde yan ürün olarak anilin ve türevleri üretilmektedir. Bu aromatik aminler toksik olup, kanla reaksiyona girerek hemoglobini methomoglobine çevirmektedir. [1]. Hatta anilinin parçalanmasında da fenton proses kullanılmış ve parçalanma yolu bulunmuştur. Daha sonra fenton prosesle anilinin parçalanma veriminin çalışma koşullarına bağlı olarak % 18 ile % 85.9 arasında olduğu tespit edilmiştir [8].

### **2.5.1.4 Karbon tetraklorid**

Ticari ve askeri uygulamalarda karbon tetraklorid geniş bir kullanıma sahiptir. Ayrıca karbon tetraklorid, perklorlanmış biyolojik parçalanmaya dayanıklı bir kirleticidir. Ayrıca solvent, pestisit, soğutucu ve aerosol sevk edici olarak da çok fazla kullanılır. Bu nedenlerden dolayı karbon tetraklorid gibi okside olmuş bileşiklerin parçalanması oksidasyondan ziyade indirgemeyle ilerler. Bunun neticesinde karbon tetraklorid, hidroksil radikalleriyle reaksiyona girmez. Daha sonra bütün bunlarla birlikte yüksek hidrojen peroksit konsantrasyonu kullanarak Fenton prosesin modifiye edilmesi sonucu süperoksit radikal anyon( $O_2^-$ ), hidroperoksit ( $HO_2^-$ ) veya her ikisi gibi  $OH^-$  olmayan indirgeyici türlerle karbon tetrakloridin indirgenebileceği gösterilmiştir. Bunun devamında değiştirilen Fenton prosesle karbon tetrakloridin % 50'sinin parçalandığı tespit edilmiştir [69].

### **2.5.1.5. Metil tert-butil eter (mtbe)**

Amerika'da 1979'dan beri metil tert-butil eter, kurşun yerine oktan artırıcı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bunun yanında en yaygın olarak kullanılan yakıt oksijenleştiricisidir. (%85). Fakat, MTBE'nin yaygın kullanımı problemdir. Daha sonra kötü tat ve renk 0.02 mg/l'nin altında olduğu belirlenmiştir. MTBE, adsorblanması zor, kimyasal ve biyolojik olarak stabil ve suda çok çözünebilir yapıya sahiptir. Bu yüzden, MTBE çevrede çok dayanıklıdır. fenton proses ile % 90-99 parçalandığı tespit edilmiştir. [72].

## **2.5. 2. Endüstride**

### **2.5.2.1. Tekstil endüstrisi**

Proseste kullanılan tekstil yardımcı maddelerine, çok değişik yapıdaki boyalar ve yüzey aktif maddelerine bağlı olarak tekstil endüstrisi atık suları, başta renk parametreleri ile yüksek organik madde olmak üzere çok değişken kirleticileri kapsamaktadır. Renkli atık sular alıcı ortama verilir. Bu nedenle su ortamındaki ışık geçirgenliğini minimum seviyeye düşürür ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz şekilde etkiler. Hatta bazı sucul organizmalarda boyar maddelerin birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelmesine yol açar. Bununla beraber tekstil endüstrisi atık sularının arıtımında kullanılan başlıca prosesler iyon değişimi, kimyasal oksidasyon, membran prosesler, adsorbsiyon, kimyasal çöktürme ve biyolojik arıtım yöntemleri olarak belirtilebilir. Fakat tekstil atık sularının arıtımında sıradan klasik yöntemler kullanıldığı için (biyolojik arıtma, fiziksel-kimyasal arıtma (koagülasyon-flokülasyon ve aktif karbon adsorbsiyon) suda yüksek çözünürlüğe sahip olması ve boyaların düşük moleküler ağırlığa sahip olmasından dolayı pek etkili olmamıştır. Ayrıca bu yöntemlerde arıtmadan ziyade boyaların başka bir faza taşınımı söz konusu olmuştur. Tekstil atık sularının arıtımında fenton gibi ileri oksidasyon yöntemleri son yıllarda çok fazla önem kazanmıştır. Ayrıca fenton proseste oluşan hidroksil radikalleri organik maddeyi okside ederek oldukça reaktif ve oksitlenebilir organik radikallerin meydana gelmesini sağlar. Ayrıca oksidasyon ve koagülasyon fenton prosesleriyle birlikte meydana geldiği için koagülasyon-flokülasyon prosesine göre daha az çamur üretilmektedir. Bununla birlikte fenton proses; reaktif, direkt, bazik, asit ve dispers boya gibi farklı tipte boya çeşitleri içeren tekstil atık sularından renk ve KOİ gideriminde etkili bir yöntemdir. [73]. Bunu

takiben poliester ve asetat fiber boyama çıkışından KOİ ve renk giderimi açısından karşılaştırıldığı araştırmada, optimum şartlar altında fenton prosesle, renk giderimi % 94 ve KOİ giderme verimi % 96 olarak tespit edilmiştir [57]. Reactive Black 5 (RB5) ile Fenton ve Foto-Fenton proses'in oksidasyon yolu ile renk gideriminin incelendiği çalışmada sırasıyla % 97,5 ve % 98,1 renk giderim verimi elde edilmiştir. Buna bağlı olarak da toplam Organik Karbon (TOK) giderim verimi sırasıyla % 21,6 ve % 46,4 olarak tespit edilmiştir [24].

### **2.5.2.2. Afyon alkoloitleri endüstrisi**

Gelişmiş ülkelerin içerisinde dünyada yer alan sınırlı sayıdaki birçok alkoloit ve afyon fabrikalarının büyük bir çoğunluğu yer alır. Bununla birlikte bu proseslerde oluşan atık suların karakterizasyonu, arıtımı ve uzaklaştırılması hakkında kaynaklarda detaylı bilgi verilmektedir. Fakat afyon alkoloitleri endüstrisi atık sularında kimyasal koagülasyon KOİ ve renk giderimi bakımından yeteri kadar verim sağlamamaktadır. Bunun sonucunda laboratuvar ölçekli havasız çamur reaktör + havalı ardışık kesikli reaktör sistemlerinde iki kademeli biyolojik olarak arıtılmış, yüksek KOİ, TOK, koyu renk ve biyolojik parçalanamayan organik kirleticilere Fenton oksidasyonu prosesinin uygulanmasıyla birlikte optimum koşullarda % 90 KOİ ve % 95 renk giderme verimi ortaya çıkmıştır. Fenton oksidasyonu prosesi renk ve çıkış suları KOİ bakımından alıcı ortam deşarj standartlarını sağlamıştır [74].

### **2.5.2.3. Kâğıt endüstrisi**

Öncelikle bu kâğıt endüstrisi, çevreye çok miktarda katı, sıvı ve gaz atık deşarj eder. Fakat kâğıt endüstrisinde büyük hacimde atık su oluşur. Bu da kâğıt endüstrisinin enbüyük problemlerinden biridir. Kâğıt endüstrisinin ayrı ayrı bölümlerinde üretilen 250 kimyasaldan daha fazlası çıkışta ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca ağaç işleme sonucunda bu kirleticilerden bazıları kendiliğinden ortaya çıkar. (tannin, lignin, reçine asitleri, v.s.). Bunun yanı sıra diğer bazı bileşikler üretim aşamasında oluşmuştur. (klorlu ligninler, fenol, dioksinler v.s.). [15]. Fakat fenton prosesinin kâğıt endüstrisi çıkış suyundaki uygulamasından olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra biyolojik olarak ön arıtmadan geçirilmiş kâğıt endüstrisi atık sularının fenton proses ile oksidasyonu sonucunda % 83 KOİ ve % 95 renk giderim verimi elde edilmiştir. [75].

#### **2.5.2.4. Zeytinyağı endüstrisi**

Zeytinyağı endüstrisinde fazla miktarda atıksu meydana gelmektedir. Bu endüstri belli dönemlerde üretim yapar. Bununla birlikte oluşan atık su yüksek kirlilik konsantrasyonuna sahiptir. Bu yüzden, atık suyun idaresi ve uzaklaştırılması çok zordur. Bunun yanında, atık suda bazı bileşiklerin şelatlaştırıcı özelliklere sahip olması bazı toksik ağır metallerin tutulmasına destek olabilir. Bu durum da mevcut atıksu sorununu daha karışık bir hale getirir. Daha sonra fenton prosesi, zeytinyağı endüstrisi atıksuyunda kullanılmış ve prosesin maliyeti belirlenmiştir[65]. Bir çalışmada, zeytinyağı endüstrisi atık sularının arıtımı için elektro-fenton metodunun ön arıtım kademesi olarak kullanılmıştır ve KOİ'de % 68 azalma meydana gelmiştir.[12]. Bu endüstrilerle yetinilmemiş ve bu endüstrilerin yanında; Fenton proses, fotoğraf, fermantasyon gibi birçok sanayide kullanılmıştır [64].

#### **2.6. Dezenfeksiyon**

Burada su ihtiyacının giderilmesi ve atıksu arıtımında kullanılan yaygın bir prosestir. Dezenfeksiyon yöntemlerinden en çok klorlama metodu kullanılır. Bu klorlama yöntemi kullanılır. Fakat oldukça büyük ekolojik ve ciddi boyutta güvenlik risklerini beraberinde getirir. Ayrıca ozon, ultraviyole, ClO<sub>2</sub> gibi uygulamalar çok daha fazla pahalıdır. Fakat bu uygulamalar klorlama metodu kadar kullanışlı değildir. Bunun yanında alternatif bir dezenfektan olan Fenton yönteminde oluşan hidroksil radikalleri hücre bileşenlerinin salınımına ve hücre yüzeyinin deformasyonuna yol açar. Sonuç olarak fenton proses ile yapılan dezenfeksiyon çalışmasında, % 99.8 bakteri giderme verimi tespit edilmiştir [14].

##### **2.6.1. Pestisit oksidasyonunda**

Öncelikle pestisitler suda çok zor parçalanabilen bileşiklerdir. Ayrıca bu tür bileşiklerin bazıları canlı bünyelerinde birikir. Hatta toksik etkilere sebebiyet verir. Bu bileşiklerin bir diğer kısmı ise canlı bünyesinde mutajenik ve kanserojen etkiye neden olur. Bütün bunların yanında pestisit kirliliği, tarım endüstrileri ve pestisit imal eden tesislerin atık sularından meydana gelir Pestisit parçalanmasında. fenton prosesin kullanımı yaygın değildir. Ayrıca büyük ölçekli uygulamalar bulunmamaktadır. Daha sonra fenton proses, triazin herbisit, kloroasetanilit herbisit, klorofenoksiasetat herbisit ve metil

parathoin parçalanmasında değerlendirilmiştir. Parçalanmanın tamamlanması hemen hemen 30 dakika sürer. [32]. Bir çalışmada fenitrothion, diazinon ve profenofos gibi organik fosforlu pestisitlerin ileri oksidasyon prosesleriyle parçalanabilirliği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak ise fenton prosesiyle sırasıyla TOK giderimi % 54.1, % 12.9 ve % 50.3 olarak tespit edilmiştir [76].

### **2.6.2. Çamur şartlandırmada**

Bu konuya baktığımızda klasik aktif çamur proses fazla miktarda çamur üretimini sağlar. Sonrasında ise maliyete bakacak olursak; çamur arıtma maliyeti, toplam atıksu arıtma maliyetinin % 35-50'sine denk gelmektedir. Bu yüzden çamur suyunu almak ve çamur miktarını azaltma gibi hususlar en önemli konular olmuştur. Ayrıca üretilen çamur miktarının azaltılması ve çamurun suyunun alınması amacıyla, Isıl arıtma, kimyasal oksidasyon, termokimyasal arıtma ve mekanik parçalanma gibi yöntemler yaygın olarak kullanılan bazı çamur şartlandırma proseslerindedir.. Bunun yanında fenton ile ön oksidasyon yapılır. Bunun sonucunda ise filtre kekinin kuru ve organik katı muhtevasında % 20 azalma, çamur hacminde % 30 azalma ve çamur kekinin kuru katı muhtevasında % 30 artış tespit edilmiştir [59].

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

Katı atık muhtevası, pH, redoks potansiyeli, iklim şartları ve depo yaşına göre sızıntı suyunun bileşimi bir takım değişiklikler gösterir. Ayrıca bunun yanında sızıntı suları, organik ve inorganik iyonlar ile metaller haricinde mikro kirleticileri de kapsamaktadır. Ayrıca sızıntı suyu karakterini etkileyen en önemli faktörlerden biri ise depo yaşıdır. Buna bağlı olarak depo yaşı arttıkça biyolojik ayrışma tamamlanır. Bu sebeple de kolay ayrışabilen organik maddelerin oranı düşer. Yine aynı sebeple yaşlı depo alanlarındaki sızıntı sularında  $BOİ/KOİ < 0.2$  iken genç depo alanlarındaki sızıntı sularında  $BOİ/KOİ > 0.5$ ' dir [22]. Ayrıca katı atık sızıntı suyunda kalıcı organikler bulunur. Bu kalıcı organiklerin biyolojik yöntemlerle giderilmesi imkânsız olduğundan ön veya son arıtım kademesi olarak ileri oksidasyon metodları uygulanmaktadır. On yıllardır yani fenton proses ile katı atık sızıntı sularının arıtımı konusu üzerinde 1990'dan beri yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Sızıntı suyunda organikler fenton proses kullanılarak giderilir. Bu da sızıntı suyu karakteristiklerine bağlıdır. Fenton prosesin katı atık sızıntı suyunun arıtımında bir ön arıtma kademesi olarak kullanılır. Böyle bir çalışmada % 60

KOİ giderme verimi elde edilmiştir [7]. Koagülasyonla ön arıtılmış katı atık sızıntı suyuna Fenton benzeri prosesin uygulanmıştır. Bunun sonucunda ise % 80 KOİ giderme verimi tespit edilmiştir [50].

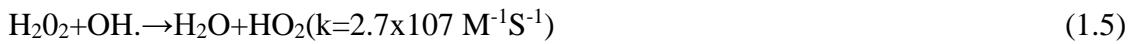
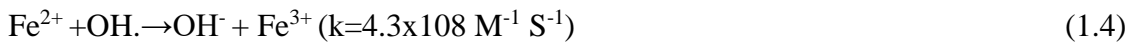
## 2.7. Fenton Prosesi İle Atıksuların Renk Giderimine Etki Eden Faktörler

### 2.7.1 pH'ın etkisi

İşletme pH'ı Fenton prosesinde çok önemli bir etkidir. Asidik pH değerlerinde, Fenton prosesine oksidasyon hakim olmaktadır. Farklı yapıdaki renklerin gideriminde Fenton prosesle uygun değer pH 3 olarak tespit edilmiştir. [57,58,59,60]. Optimal pH değerlerinin altında,  $[\text{Fe}^{2+}(\text{H}_2\text{O})]^{2+}$  oluşumu meydana geldiğinden daha az hidroksil radikali üretilmektedir. Ayrıca, hidrojen peroksit bir oksonyum ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) iyon oluşturmak amacıyla olası bir proton çözümlenerek sabit kalabilmektedir. Daha sonra ise bir oksonyum iyon, hidrojen peroksiti elektrofilik yaparak demir iyonu ile reaksiyonunu azaltmaktadır [61]. Optimal pH değerlerinin üzerinde ise, hidrojen peroksitin su ve oksijene ayrışmasından ve  $\text{Fe}^{2+}$  komplekslerinin oluşumu sebebiyle parçalanma hızı düşer.

### 2.7.2. Reaktiflerin etkisi

İşletme maliyetini ve kirlenmelerin giderim verimini Fenton prosesinde reaktiflerin ( $\text{Fe}^{2+}$  ve  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) optimizasyonu büyük ölçüde tayin etmektedir. Bunun neticesinde en uygun dozaj, demir ve hidrojen peroksit iyonlarına veya reaktiflerin birbirine nispi oranlarına göre belirlenmektedir. Kirlenmelerin giderim hızı, demir iyonlarının konsantrasyonunun artmasıyla birlikte artış gösterir. Fakat bu giderim hızı, belli konsantrasyonun üzerinde oldukça azdır. Bununla da kalmaz, çıkışta çözünmüş katı madde miktarı artar. Bunun sebebi ise fazla demirin kullanılmasından kaynaklanır. Kirlenmelerin giderim hızı da artmaktadır. Bu da Hidrojen peroksit konsantrasyonunun artmasıyla olur. Fakat bol miktarda  $\text{Fe}^{2+}$  ve hidrojen peroksit aşağıda verilen reaksiyonlara göre hidroksil radikalleriyle reaksiyona gireceği için pek fazla önerilmez. [10].



### 2.7.3. Atıksu bileşenlerinin etkisi

Hidroksil radikali ( $\text{OH}\cdot$ ) atık sulardan renk giderime yol açar. Boya moleküllerinin sayısındaki artış boya konsantrasyonundaki artış ile artar. Bu da renk gideriminin azalmasına sebep olur [77]. Fenton proses ile dispers boyalar için elde ettiği en yüksek KOİ ve renk gideriminin reaktif ve direkt boya için elde edilen sonuca benzer olduğunu ve Fenton prosesin boya türünden etkilenmediğini belirtmişlerdir [78]. Hatta bununla birlikte reaktif boyalardan Fenton prosesle renk gideriminin yüksek çözünürlük ve düşük askıda madde konsantrasyonu sebebiyle dispers boyalara göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir [79]. Ayrıca Kusic ve diğerleri (2006), antraquinon ve azo kromoforlu iki reaktif boyanın Fenton ve Fenton-benzeri yöntemle KOİ ve renk giderimini incelemiştir. Renk giderme işleminin boyanın yapısından etkilenmediğini, ancak mineralizasyon büyüklüğünün boyanın moleküler yapısına bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir [80]. Bali ve diğerleri (2004), iki ticari boyanın UV,UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve foto-Fenton metoduyla renk giderimi ve mineralizasyonunu araştırmışlar ve DR 28'in DY 12'e göre özellikle mineralizasyon bakımından daha dayanıklı olduğunu belirtmişlerdir [81].

### 2.7.4. Sıcaklığın etkisi

Reaksiyon hızı Fenton prosesinde sıcaklığın artmasıyla artar. Fakat, hidrojen peroksitin su ve oksijene parçalanması sıcaklığın 40-50°C'nin üzerine çıkmasıyla arttığından 25-35 °C arasındaki sıcaklıklar fenton proses için önerilir. Bu sebeplerle tekstil atıksularının yüksek sıcaklıklarda deşarj edilmesi fenton proses için bir avantaj sağlamaktadır [14]. Daha sonra ise Fenton prosesle renk giderme veriminin sıcaklığın 20 °C'den 40 °C'ye artmasıyla doğru orantılı olarak arttığını ve Fenton prosesle renk giderme işlemi için uygun değer sıcaklığın 30 °C ile 40 °C aralığı olduğunu belirtmişlerdir [15].

### 2.7.5. Fenton-benzeri prosesler

Hidrojen peroksiti kataliz etmek için farklı metal iyonları ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ , vs) kullanılır. Bunun yanında Xu ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmada dört farklı metal iyonunun katalitik aktivitesini karşılaştırmışlar ve gerek karanlık gerekse de ışıklı ortam Fenton proses reaksiyonlarında  $\text{Fe}^{2+} > \text{Mn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Ag}^+$  olarak tespit etmiştir [6].



Ayrıca boyar maddelere ek olarak tekstil akarsuyunda yüksek miktarda diğer tuzlar ve iyonlar da bulunur. Daha sonra bu iyonlar, atıksudan boyaların giderimine ve parçalanmasını daha karışık bir duruma getirir [16]. Fakat nitrat, fosfat, sülfat ve klor iyonları fenton prosesle renk gideriminde renk giderim hızını düşürür. [17].

### **2.7.6 Fenton prosesinde koagülasyon ve oksidasyonun rolü**

Öncelikle  $H_2O_2/Fe^{2+}$  oranına bağlı olarak fenton proses, farklı iki arıtma fonksiyonuna (koagülasyon ve oksidasyon) sahiptir. Ancak,  $Fe^{2+}$  miktarının  $H_2O_2$  'den fazla olması durumunda arıtımda oksidasyon yerine kimyasal koagülasyon etkili olmuştur. Daha sonra, renk gideriminde yüksek reaktif konsantrasyonları fenton prosesle kullanılmış ve renk gideriminde etkili olan arıtma fonksiyonu bulunamamıştır. Kang ve diğerleri (2002), yaptıkları çalışmada renk giderimi için düşük reaktif konsantrasyonlarının gerekli olduğunu, KOİ giderme işlemi için ise daha yüksek konsantrasyonların gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Renk gideriminin oksidasyon vasıtasıyla gerçekleştiğini, KOİ gideriminde ise koagülasyonun etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, mevcut kimyasal koagülasyon ünitelerine hiçbir ek üniteye gereksinim duymadan fenton prosesi uygulanabilir [18].

### **2.7.7 Fenton prosesli arıtma kombinasyonları**

İlk olarak fenton proses, biyolojik ve fizikokimyasal arıtma yöntemleriyle farklı düzenlerde kullanılmıştır. Ayrıca toksik kirleticilerin yok edilmesinde kullanılır. Bununla birlikte kimyasal arıtımın biyolojik arıtmadan önce kullanılması, boyar maddelerin arıtımı için biyolojik ya da biyolojik arıtmadan sonra kimyasal arıtımın kullanılmasıyla kıyaslandığında daha olumlu sonuçlar elde edilir. [19]. Daha sonra, Tantak ve Chaudri (2006), azo boyalardan renk giderimi ve mineralizasyonun artması için Fenton proses ve sonrasında aerobik biyolojik arıtımı birlikte kullanmışlardır. Bu çalışmanın sonunda; Reactive Black 5, Reactive Blue 19 ve Acid Orange 7 için KOİ giderme verimi sırasıyla, %81.95, %85.57 ve %77.83 olarak bulunmuştur. Ayrıca bu kombinasyonun azo boyaların parçalanmasında uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. [20]. Banerjee ve diğerleri (2007), eosin boya giderme işlemi için Fenton proses ve nanofiltrasyonu beraber kullandıkları çalışmalarında, Fenton prosesi izleyen nanofiltrasyon düzenlemesinin ve iki kademeli nanofiltrasyon kombinasyonunun uygun olduğunu, nanofiltrasyonu takip eden Fenton proses kombinasyonunun ise uygun

olmadığını dile getirmişlerdir. [21]. Kim ve diğerleri (2004), dispers ve reaktif boya giderme işlemi için  $Fe^{3+}$  koagülasyon prosesi ile Fenton proses kombinasyonunu kullandıkları çalışmalarında, %90 KOİ giderme verimi ve %99 renk giderme verimi bulmuşlardır [72].

### **2.7.8. Fenton prosesin diğer ileri oksidasyon prosesleri ile karşılaştırılması**

Kang ve diğerleri (2000), tekstil atıksuyundan  $Fe^{2+}/H_2O_2/UV$  (pH=4),  $H_2O_2/UV$  (pH=4),  $Fe^{2+} / H_2O_2/UV$  (pH=7),ve  $Fe^{2+} / H_2O_2$  (pH=4), prosesleriyle renk giderme verimini sırasıyla %93, %82, %73 ve %64 olarak bulmuşlardır. [22]. Değişik cins boyalardan renk giderimi için farklı oksidasyon proseslerinin kıyaslandığı çalışmalar bulunur. Ayrıca, disperse boyaların parçalanmasında dört farklı metod (ozon, hipoklorit, fenton proses ve elektrokimyasal oksidasyon) karşılaştırılmış ve Fenton proses ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. [78]. Kang ve diğerleri (2002), polivinil alkol ve R94H reaktif boya karışımından elde ettikleri sentetik tekstil atıksuyundan renk ve KOİ giderme işlemi için Fenton proses, Fenton benzeri proses ile +2 ve +3 değerlikli demir ile koagülasyon metodunu kıyaslamışlar ve renk giderme işlemi büyüklüğünün Fenton proses>Fenton benzeri proses> $Fe^{3+}$  ile koagülasyon>  $Fe^{2+}$  ile koagülasyon olduğunu belirtmişlerdir. [18]. Daha sonra Neamtu ve diğerleri (2004), dispers red 354 azo boyanın giderimi için ozon, fentonUV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve foto-fenton prosesi kıyaslamışlar ve foto-fenton metodun diğer proseslerinden renk ve toksisite gideriminde en uygun ön arıtım metodu olduğunu belirtmişlerdir. [82]. Azbar ve diğerleri (2004), poliester ve asetat fiber boyama çıkışlarından renk ve KOİ giderimi için farklı ileri oksidasyon proseslerini ( $O_3$ ,  $O_3 /UV$ ,  $H_2O_2/UV$ ,  $O_3/ H_2O_2/UV$ ,  $Fe^{2+} / H_2O_2$  ve kimyasal arıtım proseslerini( $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ,  $FeCl_3$  ve  $FeSO_4$ ) kıyaslamışlardır. KOİ ve renk giderme işlemi için en yüksek neticeler  $O_3/ H_2O_2/UV$  düzenlemesiyle elde edilmesine rağmen, fenton prosesle yeterli bir KOİ ve renk giderimi elde edildiğini ve ekonomik olarak daha uygun bir metod olduğunu belirtmişlerdir [24]. Meriç ve diğerleri (2005), tekstil atıksuyundan KOİ, renk ve toksisite giderimi için fenton proses, ozon ve koagülasyon-flokülasyon metodunu kıyaslamışlardır. Fenton proses ile ozon metoduna göre daha yüksek KOİ giderimi ve benzer renk giderimini bulmuşlardır. Fakat fenton proseste çamur üretimi ve kimyasal kullanımından dolayı ozon metoduna göre uygulanılabilirliğinin şimdi de çok zor olduğunu ileri sürmüşlerdir. [14]. Solmaz ve diğerleri (2006), biyolojik olarak ön arıttımdan geçirilmiş tekstil atıksuyundan KOİ ve renk

giderimi için koagülasyon, fenton proses ve ozonlama metodunu kıyaslamışlar ve Fenton prosesin diğer yöntemlerden daha etkili ve ekonomik olduğunu dile getirmişlerdir[8].

Muruganandham ve Swaminathan (2006), reaktif yellow 14 azo boyanın giderme işlemi için foto-fenton, UV/TiO<sub>2</sub> , fenton ve UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ileri oksidasyon metodunu kıyaslamışlar ve renk giderimi büyüklüğünün sırasıyla foto-fenton> UV/ TiO<sub>2</sub> >fenton> UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> olduğunu belirlemişlerdir[25]. Alnuaimi ve diğerleri (2007), nötral red quinon boyanın UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve fenton metodu ile renk giderimini kıyaslamışlardır. Fenton prosesin renk gideriminde daha etkin bir metod olduğunu ortaya çıkarmışlardır. [17]. Hsing ve diğerleri (2007), acid orange 6 azo boyadan renk giderme işlemi için UV/ TiO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub>/UV, O<sub>3</sub>/UV/ TiO<sub>2</sub> , Fenton ve elektrokoagülasyon (EC) proseslerini kıyaslamışlar ve renk giderme veriminde Fenton>EC>O<sub>3</sub>/UV/TiO<sub>2</sub>=O<sub>3</sub>/UV>O<sub>3</sub> olduğunu ve TOK giderme veriminde ise O<sub>3</sub>/UV/TiO<sub>2</sub>>O<sub>3</sub>/UV>EC>O<sub>3</sub>=Fenton olduğunu ortaya çıkarmışlar. [26].

### 2.7.9. Fenton proses ve toksisite

Atıksular tekstil endüstrisinden kaynaklanır. Bu atıksular kalıcı, tehlikeli ve toksik özelliğe sahip kirleticiler içerir. Biyolojik olarak bu kirleticilerin çoğu parçalanmaz. Atıksular bu tür kirleticilere sahiptir ve bu atıksuların arıtımında ileri oksidasyon yöntemleri iyi neticeler verir ve talep edilmektedir. İşletme maliyetinin yüksek olması, ileri oksidasyon yöntemlerinin en büyük dezavantajı olarak kabul edilir. Fakat bu tür kirleticilerin tam olarak parçalanması genelde çok gerekli görülmez. Bunun neticesinde bunun yerine toksisite testinin kullanılmasıyla ileri oksidasyon proseslerin işletme maliyetinin düşeceği tespit edilmiştir. Hatta biyolojik parçalanma tercih edilen mikroorganizma türüne bağlıdır. Bu nedenle bu şekilde varılan sonuçlar yapılacak olan diğer araştırmalar için bir kıyaslama imkânı sunar. Ayrıca toksisite testi, güvenilir bir yöntemdir ve standart hale getirilebilir. Bununla birlikte üç farklı biyotest (*Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* ve mikroalg türleri (*Selenastrum capricornutum* veya *Phaeodactylum tricornutum*)), arıtma sırasında toksisite değişimini incelemek amacıyla kullanılır [12]. Yapılan birtakım çalışmalarda, *Daphnia magna* biyotesti kullanılmıştır. Buna bağlı olarak da Fenton proses ile toksisitenin komple yok edildiği belirlenmiştir. [27,59] Alaton (2007), Fenton prosesin; ozon, TiO<sub>2</sub>/UV-A ve TiO<sub>2</sub>/UV-A/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

proseslerine nispeten daha kötü biyolojik parçalanma, aromatik bileşiklerin giderimi ve toksisite giderimi sağladığını belirtmiştir. [12].

### **2.7.10. Fenton prosesin işletme maliyeti**

Fenton prosesin işletme maliyetine baktığımızda ise, tekstil sanayisi atıksularından tam ölçekli olarak Fenton proses ile KOİ ve renk gideriminde maliyet yüksek oranda, atıksuyun debisi, karakteristiği ve kullanılan reaktörün şekline bağlıdır. Azbar ve diğerleri (2004), poliester ve asetat fiber boyama çıkışlarından Fenton proses ile KOİ ve renk giderimi için işletme maliyetini 0.23 \$/m<sup>3</sup> olarak ortaya çıkarmışlar. [24]. Birgül ve Solmaz (2007), bir tekstil atıksuyundan Fenton proses ile KOİ ve renk gideriminin işletme maliyetinin, laboratuvar ve çamur bertaraf maliyetlerini ayrı tutarak, 0.59 \$/m<sup>3</sup> olduğunu bulmuşlardır [28]. Sevimli (2005), biyolojik ön arıtılmış tekstil atıksuyundan KOİ ve renk gideriminin işletme maliyetini çamur bertarafı için ihtiyaç duyulan maliyeti hesaba katmayarak 0.19 s/m<sup>3</sup> olarak bulmuştur.

Ayrıca; Fenton prosesin, ozon ve ozon/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proseslerine göre birim atıksu arıtım maliyetinin ekonomik açıdan daha uygun olduğunu belirtmiştir [29].

### **2. 7.11. Fenton oksidasyonu genel esasları**

Fenton metodu, Henry John Horstman Fenton tarafından 1894 yılında icat edilmiş bir yöntemdir. Hidroksil radikaller Fe<sup>2+</sup> ve hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) arasındaki zincirleme reaksiyonlar neticesinde ortaya çıktığını belirtmiştir. Ayrıca oluşan hidroksil radikalleri oldukça yüksek oksitlenme gücüne sahiptirler. Bunun neticesinde hidrojen peroksit ferro iyonu sistemi “Fenton reaktifi” olarak bilinmektedir . Fenton yöntemiyle yapılan arıtma işlemi aşağıdaki sırada gerçekleşmektedir. [46].

1. Başlangıçta asidik şartlar sağlanır. Bunun için uygun pH aralığı 2 – 5 arasındadır.
2. Önce Fe<sup>2+</sup> tuzları, sonra hidrojen peroksit eklenilerek, hidroksil radikalleri oluşturulur. Oksidasyonla organik yüksek moleküllü maddeler daha düşük molekül ağırlığına sahip moleküllere dönüşür. Fe<sup>2+</sup> bu esnada Fe<sup>3+</sup> ' e yükseltgenir.
3. Reaksiyondan sonra, kireç veya sodyum hidroksit ile nötralizasyon yapılarak ortam pH'ı Fe<sup>3+</sup> floklarının en uygun çökebilme aralığı olan pH= 7 – 8 ' e getirilir.

4. Nötralizasyon işlemi sonrasında ortamdaki  $Fe^{3+}$  floklarının yeterince çökebilmesi için bir bekleme süresinin sonunda oluşan durufaz, çamurdan ayrılır. Fenton çamuru arıtılan veya rengi giderilen atıksudan rahatlıkla ayrılmakta ancak adsorbe edilen organik maddeler dolayısıyla bertarafı zor olmaktadır.

## 2.7.12. Fenton oksidasyonu reaksiyonları

### 2.7.12.1. Redoks reaksiyonları

Fenton oksidasyonu reaksiyonunun temeli yüksek oksitleme içeriğine sahip ( $OH^*$ ) radikallerinin oluşumudur. Fenton reaksiyonunun mekanizması oldukça karmaşıktır ve kararlı neticeler alabilmek amacıyla uygun değer ve koşullar istikrarlı olmalıdır. Asidik koşullarda  $Fe^{2+}$  ve hidrojen peroksidin reaksiyonları daha karardır. Ayrıca pH 3-4 değeri Fenton oksidasyonu için en uygun değerdir ve bu değer daima kontrol edilerek sabit kalması sağlanmalıdır [51]. Bunun yanında organik maddelerin ve  $Fe^{2+}$  iyonlarının var olduğu bir su ortamına hidrojenperoksit verilirse Reaksiyon 1'deki karışık tepkimeler ortaya çıkar [43]. Fenton oksidasyonu, tepkime anında yüksek oksitleme kapasitesine sahip hidroksil radikallerinin oluşumuna katkı sağlayan ve aşağıdaki denklemlerle ifade edilen kimyasal mekanizmaları kapsar [43].



Ortamdaki  $Fe^{2+}$  hidroksil radikallerinin diğer bir reaksiyonuyla  $Fe^{3+}$ 'eyükseltgenir.



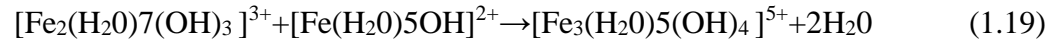
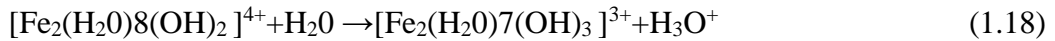
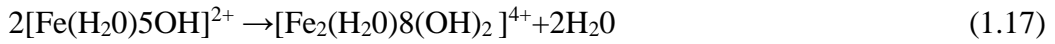
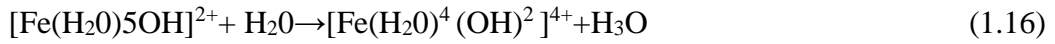
$Fe^{3+}$  ün katalitik etkisiyle hidroksil ve hidroperoksil radikal oluşum mekanizmaları ile hidrojen peroksit bozunur.





### 2.7.12.2. Koagülasyon reaksiyonları

Renk giderimi açısından organik maddelerin parçalanarak ürünlere dönüşmesi yarar sağlamaktadır. Demir iyonları suya verildiği zaman hidroksiliyonları ile ferrik hidroksi kompleksleri oluşturur ve aşağıdaki koagülasyon tepkimeleri meydana gelir [53].



### 2.7. 13. Fenton oksidasyonuna etki eden faktörler

#### 2.7. 13. 1. Demir iyonu türünün etkisi

Katalitik dönüşüm zinciri ortamda reaksiyon için yeteri kadar organik madde ve  $\text{H}_2\text{O}_2$  bulunması halinde hemen baslar. Tepkimeleri katalizlemek amacıyla  $\text{Fe}^{2+}$  veya  $\text{Fe}^{3+}$  tuzlarından hangisinin reaksiyonun katalizinde kullanıldığının önemi olmadığı vurgulanmış, fakat düşük hidrojen peroksit konsantrasyonlarında (<10-25mg/l gibi)  $\text{Fe}^{2+}$ 'nin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Reaksiyon 15'den de görüleceği gibi; klorür

veya sülfat tuzlarının ortamdabulunması, yüksek hızlı uygulamalarında Cl<sub>2</sub> oluşumu dışında başka bir olumsuzluğa yol açmaz [28].



### 2.7.13.2. Demir iyonu konsantrasyonunun etkisi

Ortamda hidroksil radikalini üretmek için demir iyonu bulunmak zorundadır. Bu temel faktör bulunmadığı için Fenton Reaksiyonuna dayalı etkin bir oksidasyon gerçekleşmemektedir. Bu yüzden ortamdaki demir konsantrasyonu çoğaldıkça tepkimenin hızı artmaktadır. Fakat öyle bir konsantrasyona ulaşılır ki bundan sonra eklenen demir iyonu, verimi arttırmada pek etkili olmaz. Daha sonra tespit edilen bu konsantrasyon, organikleri içeren atıksu örneği için Fenton uygulamasındaki optimum demir dozunu ifade eder. [16]. Fenton prosesinin bir atıksuya uygulanabilmesi için;

- Organik madde konsantrasyonuna dikkat edilmeden tepkimenin yeterli bir zaman diliminde gerçekleşmesi amacıyla en az demir konsantrasyonu 3-15mg/L arasında olması,
- Fe/Organik Kirlilik Yüğü = 1/10-50 (Ağırlık/Ağırlık) mertebesinde bulunması,
- Atıksuyun karakteristiğinin, Fe'i bağlayarak etkinliğini giderecek fosfat, EDTA, formaldehit, sitrik ve okzalik asit gibi maddeleri belirgin ölçüde kapsamaması gerekmektedir.

Reaksiyonun gerçekleşmesi için, uygulamada, gerekli demir konsantrasyonu aynı zamanda Fe / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oranı şeklinde de belirtilmektedir. Daha sonra bu hedefle kullanılan genel aralık değerleri: 1/5-25 (Ağırlık/Ağırlık) şeklindedir. [42].

### 2.7.13.3. Sıcaklığın etkisi

Fenton tepkimesinin hızını sıcaklık artışı artırır. Bu nedenle bu hız artışı 20 °C'nin altında daha güçlüdür. Ayrıca sıcaklığın 40-50 °C'nin üzerine çıkması H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 'yi H<sub>2</sub>O ve O<sub>2</sub>'ye bozunduracağından oksidasyon verimi düşer. Fenton uygulaması için uygun değer sıcaklık aralığı 20-40 °C'dir [85]. Bununla birlikte yüksek kirlilikte atıkların ön arıtma fonksiyonları için Fenton uygulamasında sıcaklık yükselmesi

denetlenmeli ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi tedrici olarak ard arda yapılmalıdır. Tepkime ilerleyen evrelerinde sıcaklığın yükselmesine sebep olabilir. Daha sonra H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozunun 10-20 mg/L değerlerini aştığı durumlarda ortaya çıkar. Sıcaklık denetimi hem ekonomik hem de güvenlik bakımından önemlidir.

Fenton uygulamalarında uygun değer pH:2-4 aralığındadır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Fe<sup>2+</sup> daha kararlı olması pH 3.5'den düşük olduğu zamana bağlıdır. Sulu Fe<sup>2+</sup> iyonunun Fe<sup>3+</sup> kolloidlerine dönüşerek katalitik etkinliğini kaybetmesi bazik bölgede verimin azalması biçiminde ifade edilir. pH'da düşme, FeSO<sub>4</sub> eklenmesi ile ortaya çıkar. Bunun nedeni FeSO<sub>4</sub> ' ün içinde bulunan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ' ün serbest durumda olmasıdır. Daha sonra H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi ile pH'da daha büyük bir düşme ortaya çıkar. pH'nın düşmesine yol açan olaylardan bir tanesi de organik maddelerin organik asitlere parçalanması şeklinde ortaya çıkar. Tepkimenin istenen düzeyde seyretmesi için pH değişimi daima denetlenmelidir. Fakat pH'da düşme meydana gelmiyorsa, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin tepkimesi inhibe edici tepkimelere yöneldi denilebilir [86].

#### **2.7.13.4. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunun etkisi**

Öncelikle, Organik bileşikleri okside edecek olan hidroksil radikalleri doğal olarak kendiliğinden meydana gelmemektedir. Bu tip arıtma prosesi için laboratuvardaki uygulamalarda zincirleme oluşan tepkimelerin profili açıklayıcı olabilmektedir. Bilindiği gibi, her tepkime kademesinde kendine ait bir tepkime hızı vardır. Bazı durumlarda proses esnasında istenmeyen ara ürünler meydana gelebilir. Bunun sebebi ortamda yeterince H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bulunmamasıdır. Ayrıca fazladan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklenmesiyle tepkimeler seri olarak devam ettirilebilir. Atıksu arıtımında toksisite gidermek amacıyla sık sık rastlanır. Daha sonra KOİ giderimi ve toksisite indirgenmesinde ani artan verimlilikler göze çarpar. Bu ise H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> optimum dozuna ulaşılmasıyla meydana gelir. Fakat optimum dozun üzerindeki H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilavesi ise verimi arttırmadığı gibi, verimlilik kontrolü için yapılacak olan KOi, BOİ gibi deneysel çalışmalarda girişim sağlaması bakımından sorunlara sebebiyet verir.

#### **2.7.13.5. Reaksiyon süresinin etkisi**

Öncelikle atıksudaki kirlilik yükü ve organik madde yapılarına bağlı olarak tepkime zamanı değişebilir. Bununla birlikte ağır kirlilik yüküne sahip kirli sularda başlangıçtaki



demir ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonunu yüksek tutmak reaksiyon performansı bakımından katkı sağlamaktadır. Tepkimenin tamamlanabilmesi için daima, düşük organik içerikli atıksularda 1 saatin altında başarı sağlanırken, çok yüksek organik içerikli atıksularda 10-24 saat gibi yüksek süreler beklenebilmektedir [44].

#### **2.7.13.6. UV ışınlarının etkisi**

Fenton uygulamasına UV ışınlarının pozitif etkileri yayında birçok araştırmalarda belirtilmiştir. Örnek verirek eğer, bir çalışmada Fenton uygulaması farklı ışın yoğunluklarında yapılmıştır ve EQ 1023-4Z H. Peschl, civa orta basınç lambası kullanılarak 160 kW/m<sup>3</sup>lük UV ışın yoğunluğunda TOK gideriminde%70'lik bir verim elde edilmiştir. Karanlıkta aynı deney yinlendiğinde verimin%17 seviyesinde seyrettiği ifade edilmiştir. Burada resmen ışınli ortamın Fenton tepkimesinin verimini artırdığı gözlemlenir. Ayrıca demir katalizör bulunmasa dahi UV ışınları H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'den hidroksil radikalleri oluşmasını sağlayabilmektedir.

#### **2.7.13.7. Havalandırma etkisi**

Fenton uygulaması oksijene doygun ortamda yapılır. Buna bağıli olarak bu uygulama tepkimelerin istikrarlı olmasına imkan verir.



Reaksiyon 16.'da görülen hidroksil radikali organik maddeyi, organikradikale dönüştürmektedir. Ayrıca serbest oksijenin varlığında Reaksiyon 17 gerçekleşerek peroksil radikali meydana gelerek oksitlenme zinciri baslar. Reaksiyon 18 ise oksijen yokluğunda meydana gelir ve böylece yeni bir organik tür ortaya çıkar. Ayrıca burada moleküler yapının parçalanmasının tersine bir büyüme söz konusudur.

#### **2.7.14. Fenton oksidasyonu avantaj ve dezavantajları**

Doğal olarak her proseste olduğu gibi Fenton oksidasyonu ve koagülasyon proseslerinin de avantajları bulunmaktadır. Bu sudaki oksijen miktarını da arttırmaktadır.

### 2.7.14.1. Fenton ve modifiye fenton prosesleri ile yapılan bazı arıtım çalışmaları

Çalışmalara bakıldığında pek çok kirletici parametrenin arıtımı için Fenton oksidasyonu kullanıldığını görebiliriz. Bali ve diğ., (2004) tarafından yapılan çalışmada, tekstil boyamada kullanılan Direct Yellow 12 (DY12) ve Direct Red 28 (DR28) kapsayan sentetik atıksularının oksidasyonunda UV,UV+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,Foto-Fenton kullanmıştır. Sonuçlara bakılırsa UV veya H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tek başına kullanılırsa renk giderme veriminin ihmal edilebilir seviyelerde olduğunu gösterir. Daha sonra elde edilen max. Mineralizasyon verimleri ve reaksiyon süreleri DY12 ve DR28 için sırasıyla %100-60 dak ve %98-90 dak.'dır.Aydın ve diğ., (2002) tarafından yapılan çalışmada, Afyon alkaloidleri atıksularının arıtımında fenton prosesini uygulamıştır. Gerçek işletme şartları göz önüne alınarak havasız reaktörün besleme suyunun seyreltilmesi ardışık kesikli reaktör (AKR) çıkış suyu ile yapılmış ve başlangıç KOİ' sinin %1.6-2'sini oluşturan ve biyolojik arıtmadan gelen mikrobiyal ürünlerin de içerisinde bulunduğu bu çıkış suyu kullanılarak Fenton oksidasyonu yapılmış ve 600 mg/l FeSO<sub>4</sub> ve 200 mg/l H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> optimum dozlarında fenton oksidasyonu ile KOİ'de %90, renkte ise %95giderim sağlanmıştır.Tekin ve diğ., (2005) tarafından yapılan çalışmada,Fenton oksidasyonunu ilaç atıksuyunun biyolojik parçalanabilirliğini arttırmak için ön arıtım olarak kullanmışlardır. Tekin ve diğ' in bu çalışmasında, Fenton oksidasyonu sonucu %45-65 değerleri arasında KOİ giderim verimi elde etmişlerdir. Bunun sonucunda ise ardışık kesikli reaktör (AKR) ile aerobik arıtım uygulandığında KOİ Giderim veriminin % 98'e ulaştığını ve deşarj standartlarının sağlandığını belirtmişlerdir. Bu da doğal olarak fenton prosesinden hemen sonra meydana gelmiştir. Esplugas ve diğ. (2002) tarafından yapılan çalışmada, fenol parçalanmasında fotokatalitik oksidasyon,

O<sub>3</sub>, O<sub>3</sub> /UV, O<sub>3</sub>/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> /UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, UV/ H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Fenton proseslerinin kıyaslanması üzerine yaptıkları çalışma neticesinde tepkimesinin diğer tepkimelere nazaran çok daha hızlı olduğu, fotokatalitik ve UV proseslerine nazaran yaklaşık 40 kat, ozon ile oksidasyona nazaran ise 5 kat hızlı olduğu göze çarpmıştır. Daha sonra O<sub>3</sub> /UV'de max. fenol parçalanması %92.6; O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de %93.4; UV'de %24.2; UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de %90.6; O<sub>3</sub> /UV/O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de %99.4; fotokatalitik oksidasyonda%77.7 iken ozon ve Fenton ile oksidasyonda %100 giderim sağlanmıştır. Ayrıca Dutta ve ark. (2001) metilen mavisinin Fenton oksidasyonu ile arıtılabilirliğini araştırdıkları çalışmalarında Fe<sup>2+</sup> / H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oranını 1/1 (mol/mol) olarak tespit etmişler. Bu çalışmalarında pH = 2,2- 2,6 iken

1 saat sonunda boya giderimi %98'den fazla ve KOİ giderimi de %81 olarak tespit edilmiştir. Bunun haricinde Lin ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada Fenton metodu ile anyonik alkil benzen sülfonat (ABS) ve lineer alkil benzen sülfonat (LAS) içeren evsel ve endüstriyel deterjan atıksularının arıtımını incelemişlerdir. Bu çalışmaların içerisinde kinetik çalışma da yer alır. Bu sebeple bu çalışmanın neticesinde optimum  $Fe^{2+}$  dozu = 90 mg/L, optimum  $H_2O_2$  dozu = 60 mg/L, arıtma süresi = 50 dk ve optimum pH = 3 olarak tespit edilmiştir. Daha sonra ABS ve LAS giderimi bu koşullar altında %95'in üzerinde gerçekleşmiştir. Kang ve ark. (2000) tekstil atıksularındaki rengin giderim işlemi için foto-Fenton yöntemini kullanmışlardır. Daha sonra bu çalışmanın neticesinde 30 dk'lık bir tepkime süresi sonunda %96'lık bir renk giderim verimi elde edilmiş, ancak KOİ giderim verimi %36'larda kalmıştır. Optimum pH = 3-5, optimum  $Fe^{2+}$  dozu = 20 mg/L, optimum  $H_2O_2$  dozu 100 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bunun yanında elde edilen en başarılı UV ışık şiddeti de 64W değerindedir. Ayrıca Saltmıras ve ark. (2000) Etilen Thioura'yı (ETU) anodik Fenton, elektrokimyasal Fenton ve klasik Fentonla arıtmaya çalışmışlardır. Bu deney neticesinde en iyi verimin anodik Fenton uygulamasında ortaya çıkmıştır. Bulunan optimum  $Fe^{2+} / H_2O_2$  molar oranı: 1/10'dur. Ayrıca ETU'nun anodik Fenton ve elektrokimyasal Fenton ile gideriminde tepkime sıfıncı derece bir tepkime olarak tespit edilmiştir. Huang ve ark. (1999) elektro-Fenton yönteminin petrokimyasal atıksuların ileri arıtımında uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Ayrıca bu bilim adamları klasik Fentonu da denemişler ve sonuçları karşılaştırmışlar. Aynı koşullar altında oksidasyon uygulamasında da arıtım çalışması gerçekleştirilmiştir.  $Fe^{2+} = 1200$  mg/L,  $H_2O_2 = 600$  mg/L ve pH = 3,5 civarında uygulanan klasik Fenton oksidasyonunda KOİ giderimi %35 olarak elde edilirken bu değer elektro-Fenton oksidasyonunda da %86'ya yükselmiştir. Huang ve ark. (2001) yaptıkları bir çalışmada yüksek KOİ içeren atık suyu elektro-Fentonla arıtımını araştırmışlar ve %98 civarında bir KOİ giderim verimi bulmuşlar. Lau ve ark. (2001) klasik Fenton oksidasyonu ile sızıntı suyunun arıtılabilirliğini incelemişler ve bu deney neticesinde 1 g KOİ. Basına 0,28 g  $Fe^{2+}$  ve 0,18 g  $H_2O_2$  kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. Bunun yanında optimum  $Fe^{2+}$  dozu = 300 mg/L ve optimum  $H_2O_2$  dozu = 200 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu koşullar altında giriş KOİ değeri 15700 mg/L iken çıkış KOİ değeri 447 mg/L'ye kadar düşüş göstermiştir. Daha sonra Yu ve ark. (1998) Fenton prosesi ile 4,4'-diaminostilben-2,2'-disülfonik asit içeren atıksuyun arıtılabilirliğini araştırmışlardır. Optimum  $Fe^{2+}$  dozu 150 mg/L ve optimum  $H_2O_2$  dozu 2000 mg/L olarak tespit

edilmiştir. Ayrıca bu koşullar altında KOİ gideriminde %90 ve renk gideriminde de %95 civarında verimlere ulaşılmıştır. Sheu ve Weng (2001) tarafından yapılan çalışmada üretim esnasında kostik kullanan bir Olefin tesisi atıksuyunun arıtımı gözlemlenmiştir ve bu deney neticesinde ulaşılan optimum pH = 1,8-2,4 olmuştur. Bunlarla birlikte optimum reaksiyon süresi = 50 dak, optimum T = 90°C, optimum Fe<sup>2+</sup> dozu = 100 mg/L ve optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/KOİ oranı =1/1 olarak tespit edilmiştir. Ulaşılan KOİ giderim verimi ise %99,5'in üzerinde seyredir. Heidmann ve Calmano (2007) yaptıkları çalışmada laboratuvar ortamında ağırmetallerin (Zn<sup>2+</sup>,Cu<sup>2+</sup>,Ni<sup>2+</sup>,Ag<sup>+</sup>,Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>) giderim işlemi için alüminyum elektrotlu bir Elektrokoagülasyon sistemini ortaya atmışlar.

Daha sonra ilk olarak başlangıç metal konsantrasyonu, metal sayısı ve akım yoğunluğu gibi parametreler ve bunların Elektrokoagülasyon prosesine etkileri üzerinde durulmuştur. 50–5000 mg/l arasındaki Zn, Cu, Ni ve Ag başlangıç konsantrasyonları giderme hızına etki etmemiş ve daha yüksek başlangıç konsantrasyonları ise daha hızlı bir Cr giderimine imkan vermiştir. Bunun yanı sıra krom yoğunluğunu arttırmak elektrokoagülasyonu hızlandırmakta fakat etkinliğini azaltmaktadır. Daha sonra ise Zn, Cu ve Ni aynı giderme hızını göstermiştir. Ayrıca bu çalışma ile birlikte incelenen metallerin giderim mekanizmalarını gösterilmiştir. Zn, Cu, Ni ve Ag iyonları hidrolize olup ve hidroksit halinde çökmektedir. Gao ve ark. (2004) yaptıkları çalışma neticesinde atık sulardaki Cr<sup>6+</sup>'yi Cr<sup>3+</sup>'e indirmek ve sonrasında tüm kromu 0,5 mg/l değerinin altına düşürmek için birleşik bir Elektrokoagülasyon-flokülasyon prosesi geliştirmişlerdir. Buna bağlı olarakda Cr<sup>6+</sup>'yi indirmek için asidik ortam uygulanmış ve krom hidroksit ve demir hidroksitin çökmesi için koagülasyonda nötral ortamın daha faydalı olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla demir hidroksit oluşumu bir tüpten basınçlı havanın koagülasyon ünitesine verilmesi ile elde edilmiştir. Ayrıca hava sadece demiri okside etmekle kalmamış aynı esnada partiküllerinde karışmasını sağlamaktadır. Atık sulardaki kromu 0,5 mg/l değerinin altına çekmek için iki aşamalı elektroflotasyon düzeneği uygulanmaktadır. bunun neticesinde arıtma için optimum şartlar: koagülasyondaki pH 5-8, güç tüketimi 1,5 mS/cm iletkenlikte 1kW/m<sup>3</sup> su olarak bulunmuştur. Koagülasyonda alüminyum iyonları ilave edilirse filtrasyona gerek kalmadan deşarj edilebilmektedir. Suksabye ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada yatak fabrikalarında kullanılan dolgu işleminin yan ürünü olan coir pith ile elektrokaplama

atıksularında  $Cr^{6+}$  giderimini incelemişlerdir. Çalışmada maksimum giderme; %2 (w/v) dozaj, 75µm'den küçük partikül boyutu, 1647 mg/ l başlangıç konsantrasyonu, sistem pH değeri 2 ve 18 saatlik denge zamanında sağlanmıştır. Adsorpsiyon izotermik Langmuir modeline uymaktadır. Bu sebeple 15, 30, 45, 60°C sıcaklıkta maksimum adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 138.04, 197.23, 262.89 ve 317.65 mg  $Cr^{6+}$ /g coir pith. Termodinamik parametreler endotermik bir prosesi işaret etmektedir. Desorpsiyon çalışması ve X-Ray adsorpsiyonu (XANES),  $Cr^{6+}$  formunun  $Cr^{3+}$  formuna dönüştüğünü belirtmiştir. FT-IR spektrumları coir pith yapısındaki ligninde bulunan karbonil ve metoksi gruplarının, kromun adsorpsiyon mekanizmasında gereksinim duyulabileceğini göstermektedir. Daha sonra coir pith yüzeyinde indirgenen  $Cr^{3+}$  karbonil ve metoksi gruplarına, oksijen üzerinde bulunan bir çift elektron ile koordinekovalent bağ yaparak bağlanmaktadır. Ayrıca Chen ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada elektro kaplama atık sularından yüksek derişimde kromatı arıtmak amacıyla atık demir kullanmışlardır. Demir kullanmalarındaki sebep elektro kaplama atık suyunun düşük pH değeri iki atık arasındaki reaksiyonu kolaylaştırması, iki atığın aynı anda arıtılması, temel ihtiyacı azaltılarak etkin pH basamaklandırılabilmesi biçiminde sıralanabilir. Tüm kromat indirgemeleri; pH 1,7 için hidrolik bekleme süresi (HRT) 98 dakika, pH 1,5 için 40 dakika, pH 1,3 için 20 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bunun neticesinde farklı pH değerlerinde tüm kromat indigeme için optimum HRT süreleri elde edilmiştir. Etkin pH değerini azaltmak amacıyla birkaç asit kullanılmış olsa da kromatla tepkimeye giren hidrojen iyonları sebebiyle etkin pH artmaktadır.

## **2.7.15 Metal kaplama endüstrisi**

### **2.7.15.1. Metal kaplama endrüstrisi tanımı**

Metaller, Uzun ömürlü, sert ve kolay şekillendirilebilen özelliğe sahip olduğu için günümüzde her alanda kullanılan malzemelerdir (Tablo 2.1). Metal veya benzeri alaşımların yüzeylerini korozyona karşı daha dayanıklı hale getirmek için kullanılan yöntemlerden biride metal kaplama yöntemidir. Korozyon kayıplarının her yıl dünya ekonomisinde milyarlarca doları bulan kayıplar yaşandığı tahmin edilmektedir. Bu kaybında en fazla otomobil sektöründe meydana gelen korozyon büyük bir paya sahiptir ve bu korozyon kayıplarını minumuma indirmek hem ekonomik hemde çevresel açıdan yararlı olacaktır.

Tablo 2.1. Metal kaplama endüstrisinde kullanılan bazı metaller ve kullanım amaçları

METAL ADI	KULLANIM AMACI
Paladyum	Dekoratif koruma
Rodyum	Korozyon
Nikel	Korozyon Mühendislik
Platin	Medikal
Rutenyum	Korozyon mühendislik
Gümüş	Korozyon Dekoratif
Çinko	Koruma
Krom	Korozyon Mühendislik

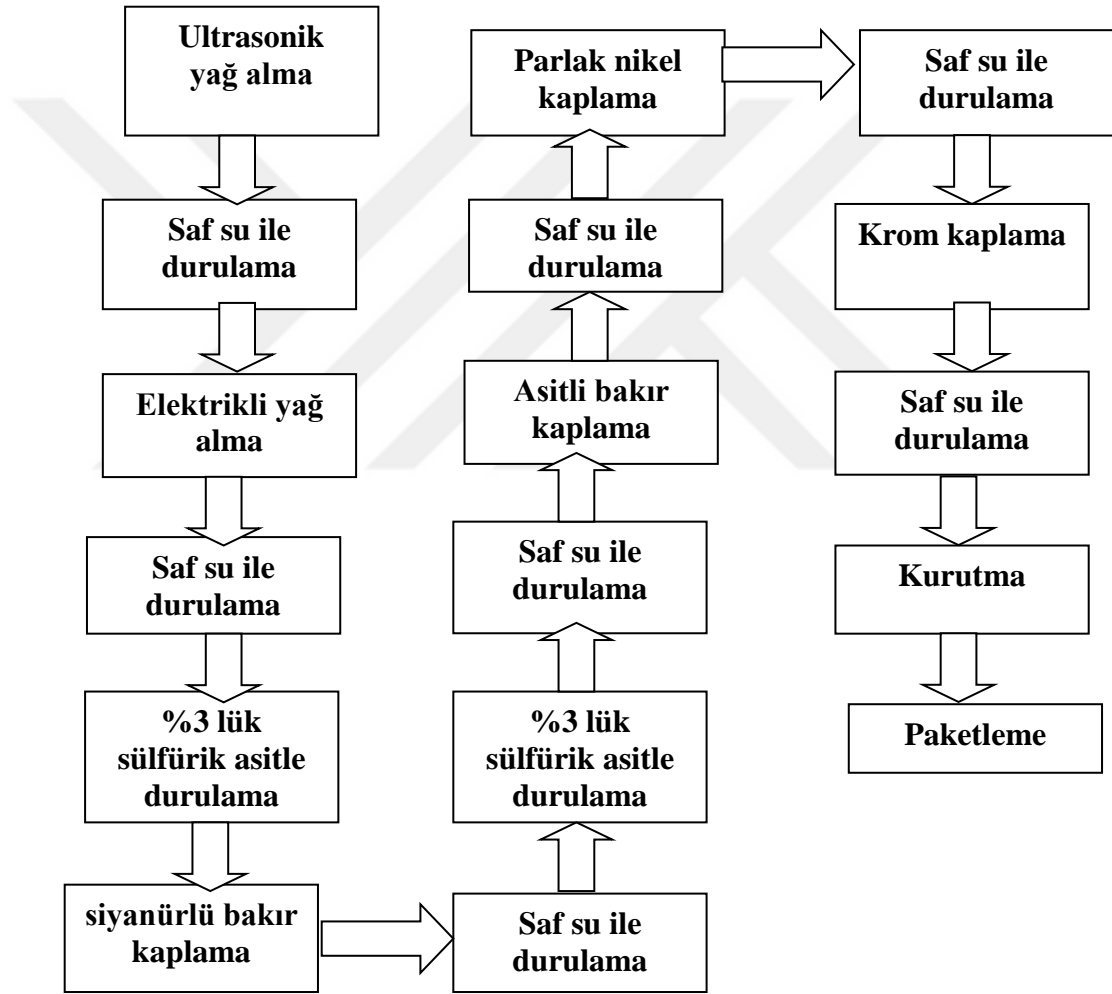
### 2.7.16. Metal Kaplama Yöntemleri

Metal kaplama süreci çeşitli işlemleri barındıran bir dizi karmaşık banyo prosesler bütünü olarak ele alınabilir (Şekil 2.2).

- **Sıcak Daldırma:** Bu yöntemde, kaplamada kullanılacak metal yüksek sıcaklıkla eritilir ve kaplanacak metal parça bu eriyik malzeme içerisine daldırılarak kaplama yapılır. Bu şekilde kaplama metali, ana metal yüzeyi ile kaplı hale gelerek korozyon'a karşı dirençlenmiştir.
- **Sıcak Püskürtme:** Bu yöntemde, kaplamada kullanılacak metal malzeme toz metalurjisi ile toz haline getirilmiştir. Toz halinde ki malzeme yüksek ısı ile eritilerek, kaplanacak metalin üzerine gönderilmesiyle kaplama yapılmaktadır. Püskürtme sonrası kaplama metali, ana metal yüzeyine etkileşerek alaşımli hale gelmektedir.
- **Sherardizing Kaplama Yöntemi:** Bu yöntemde, kaplanacak metal ile kaplamada kullanılacak toz metal aynı havuz içerisine konulmaktadır. Bu havuz içerisinde yüksek sıcaklıkta bir süre bekletilmektedir. Toz halinde ki kaplama metali,

yüksek ısı etkisiyle uçuculuk özelliği kazanmakta ve ana metal yüzeyini sararak alaşımli hale gelmektedir.

➤ **Elektroliz Yöntemi:** Bu yöntemde, kaplama yapılacak metal malzeme anot, kaplanacak metal parça katot olacak durumda, uygun bir elektrolit içerisinde kaplama yapılmaktadır. Bu işlem esnasında, kaplama metali aşınmaya uğrayarak ana metal parçanın yüzeyini kaplamaktadır ve alaşımli hale gelerek korozyona dayanıklı hale gelmektedir.



Şekil 2.2. Metal Kaplama Proses Adımları

### 2.7.16.1. Elektrolitik yolla metal kaplamacılığı

Kullanıldıkları alanlara göre doğa koşullarında, oksitlenmeye sebep verecek ortamlardan, kullanım zamanlarından vb. sebeplerden dolayı metal malzemelerin daha çok aşınmaya uğramasına engel olmak için yüzeylerine, buldukları ortamlardan

etkilenmeyen başka elementler ile kaplanmasına "Galvanoteknik"kaplamacılık denilmiştir. [83]. Birçok metal işleme yönteminde metalin elektrokimyasal çözünme ve birikimi kullanılmaktadır. Elektrolitik kaplama yöntemi en çok bilineni ve en yaygın kullanım alanı bulan yöntemidir. Bu yöntemde kaplama işlemi elektrolitik birikim yolu ile yapılmaktadır. İletken bir yüzey tabakası sağlanmak şartıyla, kaplanan yüzey metalya da metal olmayan bir maddedir. Kaplama işlemi koruma veya süsleme amacıyla ya da her iki sebepten dolayı yapılmaktadır. Elektrolitik şekillendirmeise metal birikiminin kullanıldığı farklı bir yöntemdir. Bu yöntemde şekillendirme amacı olduğu için normal kaplamada uygulanan tabakaya göre biriken tabakanın kalınlığıdaha çok fazladır ve yüzeyde biriken metal birikim tamamlandıktan sonra yüzeyden ayrılabilir. Biriken metalin kalınlığı dayanıklı olacak şekilde ve biriktiği yüzeyin şeklini alacak oranda olmalıdır. Bir kaplama ünitesini oluşturan elemanlar başlıca bir elektrolit, bir katot, bir anot ve uygun bir kaplama banyosundan oluşur. Bunların yanında uygulamaya göre ihtiyaç duyulan ek araçlarda bulunur. Bu ek araçlar örneğin; elektrolitin karıştırılması ve saflaştırılması için gerekli olan ve herhangi bir otomatik kontrol için gerekli olan araçlardır. Üniteye, elektriksel araçlarda bulunmaktadır, bu araçlar ünitenin ihtiyaç duyduğu elektriği yani ana güç kaynağından gerekli doğru akım sağlamak amacıyla birazaltıcı, dönüştürücü ve rektifiye edici araçlardır. İhtiyaç duyulan bazı durumlarda motor jeneratörler' de kullanılmaktadır. Bu arada kaplama hücrelerine gerekli gücün istenen oranda verilmesini sağlayacak kontrol sistemlerine gereksinim vardır. [11]. Kaplama işlemi bittiğinde oluşan metal kristal durumdadır, oluşan kristalin birikim şekli ve boyutu, birikimin dayanıklılık, görünüş, süreklilik, adezyonve diğer özelliklerini belirler. Kaplama hücresinin en önemli özelliklerinden olan elektrolitin kimyasal bileşimi ve akım yoğunluğu, kaplama sonrası biriken kristalin yapısının belirlemede önemli bir etmendir. Bunun yanında kaplama hücrelerinin fiziksel özellikleride önemlidir, özellikle ısı, karıştırma ve elektrotların büyüklüğü, şekli ve birbirine yakınlığı önem taşır. Katottun yüzey özellikleri önemli iken anottun kimyasal özellikleri de önemlidir. İstenilen şekilde ve standartta birikim elde edilmesi için bu değişkenlerin oranı ve kontrol edilmesi önemlidir [73].

#### **2.7.16.2. Metal kaplamada izlenen asamalar**

Polisaj işlemi zaman içerisinde teknolojik olarak gelişerek tek motorlu sistemlerden tam otomatik sürekli sistemlere (bant polisajı) geçiş yapmış ve kullanım alanı genişlemiştir.



Metal kaplama sektöründe de kullanım alanı bulunan polisaj işlemi metal kaplama aşamalarından biri haline gelmiştir. Polisaj işlemi ile kaplama yapılacak metal parçalarda ki zamak, pirinç (sarı) parçaların önce çelik bilye atan havalı kompresörlerle çalışan kumlama makinasında çapakları alınır. Ayrıca özel keçe ve kimyasal cilalarla, pamuk veya kumaştan fırçalarla parlatılmaları sağlanır. Bu işlemle kaplanacak yüzeyler film parlaklığına getirilir.

#### **2.7.16.2.1. Yüzey temizleme işlemi**

Kaplanacak malzemenin yüzeyinde bulunan yağ ve kimyasal artıklarından, organik yağlardan oluşan kirlilik tabakası yüzey aktif maddelerle veya yağlama banyolarında sabunlaştırma ile giderilebilir Hazır kimyasallar (% 6 - 12 oranında suda eritilerek 6 - 70 °C' de 10 - 20 dakika süre ile işleme tabi tutulurlar. Bileşimde çoğunlukla “sodium hidroksit saf olmayan, soda, trisodyum fosfat” ile çok az miktarlarda inhibitör veya emülgatör gibi yardımcı kimyasallarda bulunur. Demir ve çelikten üretilmiş parçaların yüzeyinde oluşan oksidasyonun temizlenebilmesi için pas giderici fosforik asit ve sülfürik asit tek başına kullanılabilir veya yeterli gelmediği durumlarda her ikisinin karışımı belirli derişimlerde kullanılabilir. Pas ve kireç çözücüsü, etkin pas giderme ve kireç sökücü özelliği, yüksek yoğunluğu ve ana metale zararlı etki vermeyen özelliği ile geniş bir kullanım alanı bulur.

#### **2.7.16.2.2. Elektrolitik ve kimyasal parlatma**

Elektrolitik bir pilde, metal anot olarak kullanılır. Metalin yüzeyinden elektronla parça koparılarak çözünmesi sonucu yüzeydeki tüm porozite giderilir ve yüzey düz ve parlak olur. Elektrolitik parlatma işlemi her metal için özel içeriklerde (özel banyolarda) yapılır. Dışarıdan bir potansiyel uygulamadan, metali kendisini çözen bir bileşime (banyoya) daldırıp kimyasal çözünmeye uğramasını sağlayarak yüzeyinin düzeltilmesi işlemi ise kimyasal parlatmadır. Reaksiyonun yürüyüşü elektrolitik parlatmaya benzer, tek farkı burada iki ayrı elektrot (anot ve katot) olmayıp, anot ve katot olarak oluşmakta ve anodik bölgeler film yardımıyla erozyona uğramaktadır.

### **2.7.16.2.3. Banyolarda kaplama**

Bu işlemde kaplanacak parçalar elektrolite daldırılır ve ardından akım verilir, bazı durumlarda da parçalar akım altında asılı durumda bırakılır. Aksi durumda kaplanacak metal yüzeyinde bir film oksit tabakası oluşur. Kaplama işleminin sorunsuz olması için sürekli bir devir daim gerekmektedir. Ardı ardına yapılan kaplama banyolarında da kaplanan metaller havada bekletilmemelidir. Kaplama işlemi sırasında oluşan akım kesilmesi gibi durumlarda ise son kaplanmış veya kaplaması yarıda kalmış metal parçalar bir sonraki yıkama banyosunda bekletilmelidir. Kaplama işlemi biten ve kaplamadan çıkan parçalar demineralize sıcak suda 90 °C' de 8 - 10 dakika bekletilir ve işlem tamamlanmış olur.

### **2.7.16.2.4. Krom kaplama işlemi**

Krom kaplamanın amacı nikelaj işlemine destek olarak korozyon direncini arttırmak olduğuna göre dekoratif açıdan ise kaplanan metalin görünümünü daha doğal bir renge getirip görsel açıdan daha zengin bir ürün elde etmektir. Nikelaj da kullanılan ham madde kromik asittir etken maddenin yanı sıra sülfürik asit ve katalizör olarak ise firmalara özel ürünler kullanılır. Anot olarak ise; %7 alaşımlı kurşun kullanılır. sülfürik asidin kullanım amacı ;katalizör olarak davranarak kromun metal yüzeyine iletimini sağlamasıdır.krom kaplama banyolarında kullanılan tanklar ise kromik aside dayanıklı çelikten yapılması ve %6 antimon içeren kurşun tankları olmalıdır.

Galvontechnik elektroliz yöntemi ile krom kaplama, kuruluş maksatları ve özelliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- Parlak, dekoratif krom kaplama ve soğuk krom banyoları
- Sert krom kaplama banyoları
- Özel krom kaplama banyoları
- Tetrakrommat Banyosu=krom banyosu
- Kendi kendini ayarlayan krom banyosu
- Çatlaksız - Gözeneksiz krom kaplama banyoları

- Mesamatlı (İri Dokulu) Krom kaplama banyoları

- Krom Banyosu

Krom kaplama banyoları yukarıda belirtildiği gibi farklı isimler ile sınıflandırılmış olsalar da elektrolit yapılarının kökleri hepsinde aynıdır.

Krom kaplama banyolarını birbirinden ayıran önemli özellikler ise şunlardır.

- Krom asit konsantrasyonları

- Yabancı asit cinsler ve miktarları

- Banyoların kaplama ısıları

- Kaplama akım yoğunlukları

- Kaplama kalınlıkları

- Kaplama süreleri

### **2.7.17. Metal kaplama endüstrisi atık sularının karakterizasyonu**

Metal kaplama işlemi ve aşamaları sırasında birçok atık su meydana gelmektedir. Oluşan bu atık suların her biri kimyasal karakterleri ve hacimleri olarak birbirinden farklıdır. Kaplama aşamaları olan sıyırma, yıkama, temizleme ve kaplama işlemlerinde meydana gelen atık sular; karışık kimyasal maddeleri içeren kaplama çözeltisi atıklarını veya kaçaklarını ve siyanür konsantratlarını içerir. Metal kaplama işleminde oluşan diğer atık türleri olarak, metal bileşikler, askıda katı maddeler, sabunlar, yağlar, konsantre asit, pikle atıları, asitli yıkama suları, kromatlar ve konsantre alkali maddeler görülebilir. Metal kaplama kuruluşlarında oluşan sıvı atıklar miktar olarak çok fazla olmasa da çok tehlikeli toksik atıklardır. Bu atıklarda ki en önemli toksik bileşenleri metaller, asitler, krom, nikel, kalay ve siyanürlerdir. Metal kaplama tesislerinin atık suları hem asidik hem de alkali türde olabilir. Temizleme banyolarının kullanımı veya siyanürün kullanımı ile oldukça yüksek pH'lıbuna karşılık kromat banyoları için asidik atıklar verir. Krom kaplama tesislerinden krom oranı yüksek atıklar, çinko kaplama tesislerinden ise siyanür oranı yüksek atıklar gelir [77].

### 2.7.18. Metal kaplama endüstrisi atık sularının arıtım alternatifleri

Metal kaplama işlemi sonucu oluşan atık sular siyanür ve toksik metal tuzlarını içerir. Hidrojen siyanürün oluşumunu engel olmak için siyanür atıklarının, asitli atıklardan ayrılması gerekmektedir. Ayrıca nikel içeren atıklardan da siyanür içeren atıkların ayrılması önemlidir. Çünkü oluşacak bir nikel siyanürün arıtılması oldukça güçtür. Metal kaplama endüstrisinde atıksuların ayrı ayrı toplaması, depolanması ve arıtılması önem arz etmektedir. Bunun nedeni ise, kaplama işleminin her aşamasında farklı bir amaç için kullanılan kimyasal maddelerin aynı ortamda bir araya geldiğinde patlayıcı reaksiyonlara girebilmesi ve tehlikeli kimyasalların oluşumuna neden olabilmesidir. Örneğin; güçlü asit ve bazın bir araya gelmesi ile patlayıcı bir etkileşim olabilir, asitlerin siyanürle reaksiyona girerek öldürücü hidrojen siyanürün oluşumuna neden olabilir. Ayrıca proses atık sularının farklı tanklarda toplanması hem arıtım işlemini daha kolaylaştırır ve arıtmadaki verimi artırır. Metal kaplamada kullanılan kaplama tuzlarının geri dönüşümü için iyon değişimi veya ters ozmoz yöntemi kullanılmaktadır. Krom kaplama tesislerinden gelen atıksuların kromunun arıtılması gereklidir. Metal kaplama tesisleri atık sularında uygulanması gereken arıtma işlemlerini su şekilde özetlemek mümkündür.

- Siyanürlerin oksidasyonu
- +6 değerlikli kromun +3 değerlikli hale indirgenmesi ve çöktürülmesi
- Asit atıkların nötralizasyonu
- Kimyasal yolla çöktürülmesi
- Çökeltme
- İyon değişimi
- Ters ozmoz
- Nötralleştirme

Ağır metallerin atıksılardan ayrıştırılmasında; kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon redüksiyon iyon değişimi, filtrasyon, elektrokimyasal işlemler, membran teknolojisi,

ters ozmoz, adsorpsiyon gibi metal giderim teknolojileri kullanılmaktadır [14]. Ağır metal iyonlarının yüksek yoğunlukta olduğu durumlarda bu teknolojiler ile verimli arıtım sağlamakta fakat özellikle çözelti içerisinde düşük yoğunluklarda ki ağırmetallerin (1-100 mg/L) arıtımında etkisiz kalmakta veya yüksek maliyetli olmaktadır. Ayrıca bu ileri teknolojik uygulamaların tam olarak metallerin arıtılamaması, pahalı donanım ihtiyaçları, yüksek kimyasal madde ve enerji ihtiyaçları ve işlem sonucunda toksik özellikte çamur oluşturma gibi olumsuz sonuçları ve dezavantajları da bulunmaktadır.

#### **2.7.19. Siyanürlü atıksuların arıtımı**

Öncelikle CN içeren çinko kaplama atıkları alkalidir. Fakat siyanürün tamamen yok olması için  $\text{pH} > 8.5$  olması gerekir. Daha sonra  $\text{pH}'ı$  yükseltmek için ortama NaOH eklenir. Ayrıca,  $\text{pH}$  değeri,  $\text{pH}$  metre ile otomatik olarak ayarlanır. [84]. Siyanür arıtımında uygulanan yöntemler şu şekilde özetlenebilir:

- A) Klorat ve hipokloritler ile oksidasyon
- B) Potasyum permanganat ile oksidasyon
- C) Ozon ile oksidasyon
- D) Elektrokimyasal oksidasyon
- E) Biyolojik yöntemler
- F) Fiziksel ve kimyasal yöntemler

#### **2.7.20. Kromlu atıksuların arıtımı**

Kromlu atıksuların arıtımında, metal kaplama tesislerinden gelen kromlu atıksuların arıtılma amacıyla kimyasal çöktürme fonksiyonu uygulanır. Daha sonra ise öncelikle altı değerlikli krom üç değerlikli hale getirilir ve daha sonra kireç ile çöktürülür. Bu yüzden bu arıtma süreci indirgeme ve çöktürme adımlarından meydana gelir. Demir sülfat, sodyum metabisülfid veya kükürt dioksit kromlu atıkların indirgenmesinde kullanılan indirgen maddelerdir. Ayrıca ferro sülfat ve sodyum metabisülfid kuru halde veya çözelti halinde beslenebilir.  $\text{SO}_2$  ise sisteme direkt olarak gaz silindirelerden yayılır.

Ferro sülfat krom giderme işleminde kullanılır. Ayrıca farklı endüstriyel proseslerde yan ürün olarak elde edilebildiğinden ucuz bir indirgendir. Hatta ferro sülfat, kromik asit ve kromatları krom sülfata dönüştürür. Ferro sülfatın çok önemli bir sakıncası vardır. Bu maddenin verdiği çamur miktarının diğer reaktiflere nazaran daha fazla olmasıdır. Bütün bunların dışında, sülfidler, bisülfidler, metabisülfidler ve serbest kükürt dioksit aktif indirgen maddelerdir. Ayrıca bu maddeler ferro sülfatın yerine indirgen madde olarak kullanılabilirler ve ferro sülfata nazaran çok daha az çamur oluştururlar. Daha sonra düşük pH değerlerinde krom (+6) 'nın indirgenmesi olayı çok verimli bir şekilde gerçekleştiği için, kimyasal indirgen maddenin asidik özellikte olmasına ihtiyaç vardır. Ferro sülfat indirgen madde olarak kullanıldığında,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  e oksitlenir.  $Cr^{6+}$  ise  $Cr^{3+}$  e indirgenir. Ayrıca metabisülfid veya kükürt dioksit kullanılırsa,  $SO_3$  kökü  $SO_4$  'e dönüştürülür. Daha sonra asitlendirme bikromatları kromik( $Cr^{3+}$ ) tuzlarına indirger. Bu yüzden indirgenmeyi asidik ortamda yapmak ve bunun devamında ise alkali ortamda çöktürme işlemi yapmak gerekir.

Sodyum metabisülfid kullanılarak da krom indirgenebilir. Buna bağlı olarak indirgeme  $H_2SO_3$  ile olur. Daha sonra ise  $H_2SO_3$  aşağıdaki kütle dengesine göre iyonize olur. Metabisülfid kullanıldığında,  $Na_2S_2O_5$  sodyum bisülfite hidrolize edilir; İndirgenme tamamlandıktan hemen sonra pH=9-10'a yükseltılarak krom hidroksit halinde krom (+3) çöktürülür.

## BÖLÜM 3

### METERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Deneysel Hazırlık ve Örnekleme

Kayseri ilinde Faaliyet gösteren soba parçaları çelik eşya ve diğer metal kaplama yapan bir fabrikadan alınan atıksu ve laboratuvarında hazırlanan sentetik su ile yine Kayseri ilinde Faaliyet gösteren Soba Parçaları Otomotiv ve makina parçaları imalatı yapan döküm fabrikasından alınan taşlama tozu kullanılmıştır. Ham atıksuyun karakteristik özellikleri Tablo 3.1 ve taşlama tozunun kimyasal içeriği Tablo 3.2’de verilmiştir.

Metal kaplama atık sularının arıtılması için döküm sanayi atıklarından olan taşlama tozunun fenton reaktifi olarak kullanıldığı bu çalışmada araştırmaya konu atıksular krom kaplama banyosu çıkış sularıdır. Metal kaplama tesisinde öncelikle kumlama yapılan parçalar temizlenerek yağ alma banyosuna alınır daha sonra durulama banyosuna alınan metal parçalar kaplandıktan sonra oluşan atık sular farklı banyolara alınarak sodyum hidroksit ilavesi ile arıtmaya alınmaktadır. Bu çalışma süresince toplanan atıksu örnekleri arıtmaya gönderilmeden önce alınmış ve saklama koşullarına uygun olarak +4 °C’de PE şişeler içinde soğutucu kutularda laboratuvar ortamına getirilmiştir.

Araştırmada ön çalışma niteliği ve proses optimizasyonunu desteklemek için sentetik atıksu eldesi laboratuvarında 20mg/L  $Cr^{6+}$  konsantrasyonuna sahip olacak şekilde  $K_2Cr_2O_7$  ‘nin ultra saf suda çözülmesiyle hazırlanmıştır.

Çalışmada kullanılan taşlama tozu ise külçe pik demir ve çeşitli hurdaların indüksiyon ocağında ergitilmesiyle kum kalıplara dökülen lamel grafitli ve küresel grafitli dökme demirlerin işlenmeden önce çapak alma ve taşlama işleminden sonra atık olarak biriktirilen depolama alanından temin edilmiştir.

Fenton çalışmaları  $FeSO_4$  ile ham atık suda optimize edildikten sonra sentetik ve ham atık suda atık taşlama tozu ile yapılmıştır. Laboratuvarında örnek çalışma görüntüsü Resim 3.1’de verilmiştir.

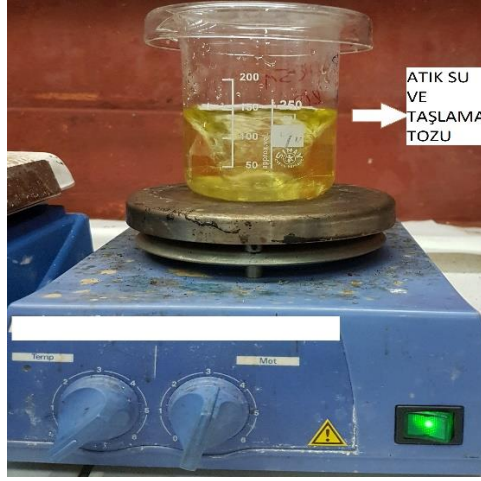
Tablo 3.1. Atık suyun özellikleri

Parametre	Sentetik su	Atık su
<b>pH</b>	6.20	6.30
<b>Cr<sup>6+</sup>,mg/L</b>	20	950
<b>KOİ,mg/L</b>	-	613
<b>Renk RES (m<sup>-1</sup>)</b>	<b>436nm 525nm 620nm</b> 11.3 1.7 1.1 ORT: 4.7	<b>436nm 525nm 620nm</b> 28.1 2.1 1.8 ORT:10.66

Tablo 3.2. Atık Taşlama tozunun içerikleri

Element	% Oranı
Karbon	2.50-4.00
Silisyum	1.00-3.00
Manganez	0.20-1.00
Fosfor	0.02-1.00
Kükürt	0.02- 0.25





Resim 3. 1. Fenton Reaksiyonu

## 3.2. Optimizasyon Çalışmaları

### 3.2.1. pH optimizasyonu

Atıksu ve atık taşıma tozu karakterizasyonu belirlendikten sonra literatürdeki fenton çalışmalarının pH 2-4 aralığındadır. Bu çalışmada pH belirlenmesi için sabit  $\text{FeSO}_4$  ve hidrojen peroksit dozajlamaları yapılarak optimum pH belirlenmiştir.

### 3.2.2. $\text{Fe}^{2+}$ dozu optimizasyonu

Başlangıçta sabit bir  $\text{H}_2\text{O}_2$  dozu belirlenmiştir ve  $\text{Fe}^{2+}$  dozajlaması yapılarak her dozajlama için sonuçlar değerlendirilip en uygun  $\text{Fe}^{2+}$  miktarı bulunmuştur.

### 3.2.3. $\text{H}_2\text{O}_2$ dozu optimizasyonu

Optimum  $\text{Fe}^{2+}$  dozu belirlendikten sonra  $\text{Fe}^{2+}$  miktarı sabit tutulup  $\text{H}_2\text{O}_2$  dozajlaması yapılarak optimum  $\text{H}_2\text{O}_2$  miktarı belirlenmiştir.

### 3.2.4. Çökme süresi optimizasyonu

Literatürde 30 ile 60 dk arasında olduğu için çökme süresini atık demir ve pH ile birlikte belirleyip reaksiyon süresinin atık demir içinde aynı olduğu sonucuna varılmıştır.

### 3.3. Fenton Uygulama Yöntemi

Fenton prosesi için  $Fe^{2+}$  kaynağı için  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  den dozajlamalar  $Fe^{2+}$  miktarını sağlayacak şekilde hesaplanarak 100ml lik behere ilave edilmiştir.  $H_2O_2$  dozajlaması için Merc 1,13g/ml ve %35 lik  $H_2O_2$  den mikro pipetle alınarak dozajlama yapılmıştır. Çökelme öncesinde 3M NaOH ve 1M HCl ile pH ayarlaması yapılmıştır. Deneyle jar test düzeneği ve manyetik karıştırıcıda ham ve sentetik atık su numuneleri için 250 ml lik beherlerde 100 ml sıvı hacminde çalışılmıştır.

Fenton oksidasyonu sıralaması aşağıdaki şekildedir.

Atık veya Sentetik su

$H_2O_2$  eklemesi

$Fe^{2+}$  veya Atık taşıma tozu ilavesi

Hızlı karıştırma (600)devir 5 dk

Yavaş karıştırma (100)devir 55 dk

pH ayarlaması : 3M NaOH ve 1M HCl

Çökelme :45-60 dk

### 3.4. Kullanılan Cihazlar

#### 3.4.1. Atomik absorpsiyon spektrometre

Fenton yöntemi sonrası krom tayini için KURVEN A.Ş'de bulunan Shimadzu AA-6200 atomik absorpsiyon spektrometresi ile tayin edilmiştir. Alevde yakıcı ve yanıcı olarak Hava/Asetilen gazları karışımı kullanılmıştır.

#### 3.4.2. Optik emisyon spektrometre

Atık taşıma tozu' nun kimyasal içeriğinin belirlenmesi için Teknik iş döküm sanayi eritme ocağından çıkan bütün dökme demirlerin kimyasal kompozisyonuna oblf marka gs 1000 modeli optik emisyon spektrometresi kullanılmıştır.

### 3.4.3. Ultrasonik su banyosu

Nevşehir Hacı Bektaş veli üniversitesi Su ve Atıksu Laboratuvarında bulunan Gerekli çözeltilerin hazırlanması ve sonikasyon işlemlerinde Sonorex marka DT-255 model ultrasonik banyo kullanılmıştır (Resim 3.2).



Resim 3. 2. Ultrasonik su banyosu Fenton Taşlama tozu çözme

### 3.4.4. Analitik terazi

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Su ve Atıksu Laboratuvarında bulunan tartım işlemleri 1 mg duyarlılıktaki analitik terazi ve  $10^{-3}$  mg hassasiyette tartım yapabilen 2 adet BEL Engineering marka hassas terazi kullanılmıştır.

### 3.4.5. pH metre

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Su ve Atıksu Laboratuvarında bulunan Çözeltilerin pH' ı Ph.mV.Temp PL -700PV pH metresi ile ölçülmüştür.

### 3.4.6. Saf Su cihazı

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Su ve Atıksu Laboratuvarında bulunan Saf su elde edilmesinde MP minipure DEST UP marka saf su cihazı kullanılmıştır.

### 3.4.7. Karıştırıcı

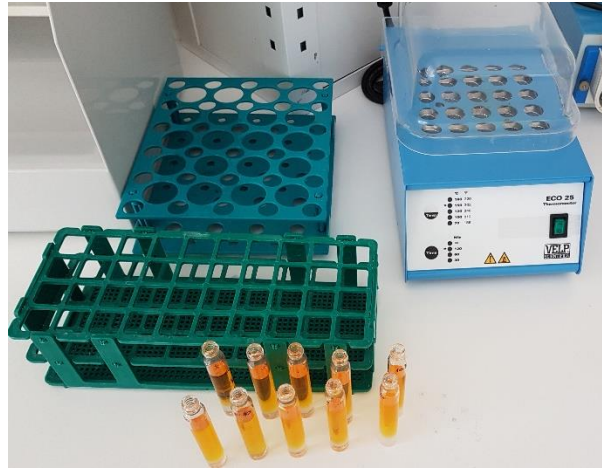
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Su ve Atıksu Laboratuvarında bulunan MS300HS Hot&Stirrer marka karıştırıcı cihazı kullanılmıştır (Resim 3.3).



Resim 3. 3. Fenton manyetik karıştırma

#### 3.4.8. Termoreaktör

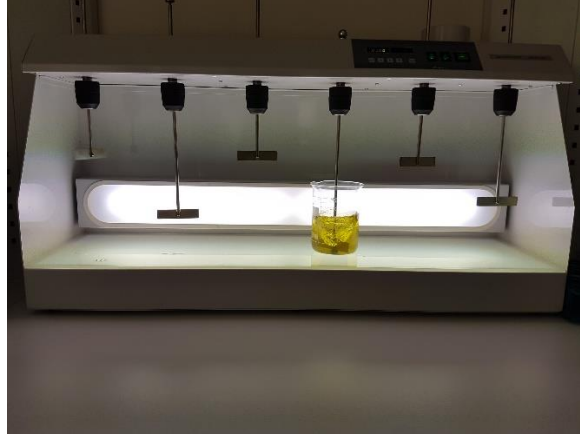
Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Su ve Atıksu Laboratuvarında bulunan Velp Scientifica ECO25 marka Termoreaktör cihazı kullanılmıştır. (Resim 3.4).



Resim 3. 4. Termoreaktörle KOİ Hazırlama

#### 3.4.9. Jar testi

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Su ve Atıksu Laboratuvarında bulunan MTOPS jar Test model:SF6 cihazıyla homojen karışım sağlanmıştır (Resim 3.5).



Resim 3.5. Jar Testi FeSO<sub>4</sub> Karıştırma

### 3.4.10. RES renk metodu

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Su ve Atıksu Laboratuvarında bulunan Hach Lange DR 5000 spektrofotometresinde RES ölçümü aşağıdaki işlemler uygulanarak yapılmıştır.

RES METODU AB'ye üye ülkelerde endüstrilerden kaynaklanan renkli atıksuların alıcı ortamlara deşarjı ile ilgili EN ISO 7887'de belirlenen standartlar esas alınarak, renklilik sayısı (RES) uygulanmaktadır. EN ISO 7887'ye göre renk parametresinin RES metodu ile ölçülmesi 3 kategoriye (Remazol Yellow RR gran için 436 nm, Remazol Red RR gran için 525 nm, Remazol Blue RR gran için 620 nm dalga boylarında ölçüm yapılır) ayrılmaktadır ve m-1 biriminde RES-436, RES-525 ve RES-620 şeklinde renk değerleri ölçülmektedir. RES metodu ile renk ölçümünde 3 farklı dalga boyunun kullanılmasının amacı; 400-500 nm bandında sarı ve tonları, 500-600 nm bandında kırmızı ve tonları, 600-700 nm bandında ise mavi ve tonlarının absorbans vermesinden kaynaklanmaktadır. 400-700 nm bandında dalga boyu arttıkça renkler koyu tonlarına doğru geçiş göstermektedir.

#### 3.4.10.1. RES analizinin yapılışı

Spektrofotometre cam küveti (10 mm) numune ile yıkanır. Numune cam küvete aktarılır. Cam küvetin dış kısmı yumuşak kağıt peçete ile iyice silinmelidir. Cam küvetin dışında herhangi bir parmak izi veya leke kalmamalıdır. Spektrofotometrede sırasıyla 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında numunenin absorbans değerleri ölçülür

ve kaydedilir. Ölçülen bu absorbans değerleri aşağıdaki Denklem'de yerine koyularak RES-436, RES-525 ve RES-620 değerleri hesaplanır.

$$RES(\lambda)=A/df$$

A:  $\lambda$  dalga boyunda numunenin absorbans değeri (okunan absorbans) ( $cm^{-1}$ )

d: Küvet kalınlığı (mm)

f: Spektral absorbans değerini  $m^{-1}$  biriminde elde etmek için faktör,  $f=1000$

RES ( $\lambda$ ):  $\lambda$  dalga boyundaki renklilik sayısı (RES) değeri ( $m^{-1}$ )

#### **3.4.11. KOİ (mg/L)**

Hach Lange DR 5000 spektrofotometresinde KOİ ölçümü aşağıdaki işlemler uygulanarak yapılmıştır. Bu test için gerekli kimyasallar; Gümüşlü asit çözeltisi: 2,53gr  $Ag_2SO_4$  ü 250 ml  $H_2SO_4$  içerisinde çözündürülüp oluşturulmuştur. Dikromat çözeltisi :16,65 gr  $HgSO_4+2,46gr K_2Cr_2O_7+83,5ml H_2SO_4$  ve son hacim 500 ml ye kadar saf su ilave edilerek hazırlanmıştır. Test için 2ml örnek alınıp 2.8ml gümüşlü asit çözeltisi ilave edildikten sonra 1.2 ml di kromat çözeltisi eklenip  $150C^0$  de 2 saat termo reaktörde 2 saat bekletilip daha sonra 605 nm de okuma yapılmıştır.

#### **3.4.12. Stok ve ara stok çözeltileri**

Krom tayininde kullanılan çözeltiler  $1000 mg L^{-1}$  stok çözeltilerden saf su ile günlük olarak uygun konsantrasyonlarda hazırlanarak kullanılmıştır. Stok çözeltiler tayin edilecek metallerin çeşitli tuzlarından hazırlanmıştır.

## BÖLÜM 4

### BULGULAR

#### 4.1. 20 Ppm sentetik suyla atık taşlama tozu optimizasyonu

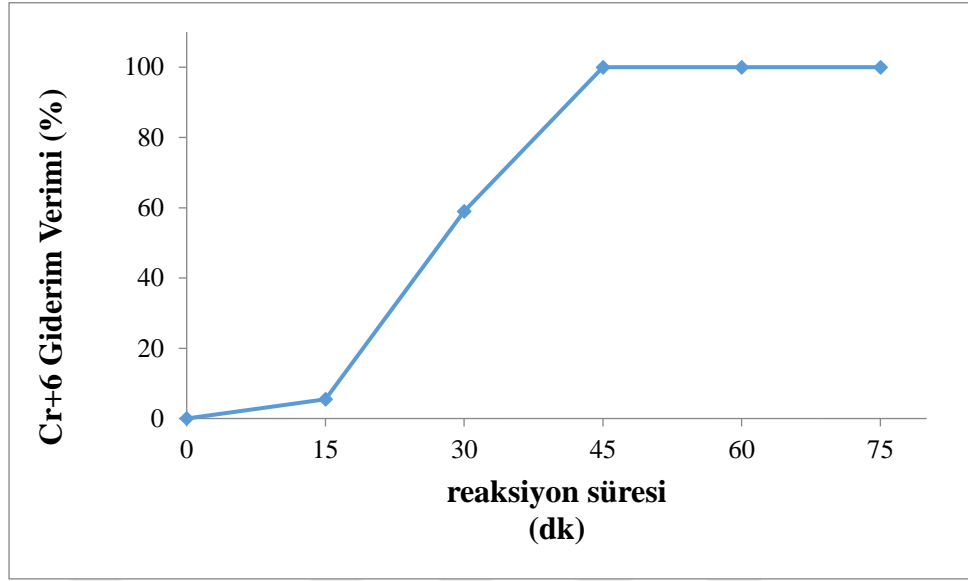
Laboratuvar ortamında  $K_2Cr_2O_7$  kullanılarak 20 mg/L  $Cr^{6+}$  oluşturacak şekilde sentetik oluşturduğumuz suyun reaksiyon süresi seçimi için 15-75 dk arasında tarama yapılmıştır. Sentetik suyun pH'sı 6.20 dir. 3M NaOH ve 1M HCl ile sentetik suyun pH'sı 3,3.5 ve 4 değerlerine ayarlanmıştır Her bir numuneye 200mg/L  $Fe^{+2}$  ve 100mg/L  $H_2O_2$  ilave edilerek 5 dk yavaş (100 rpm) 55 dk hızlı (600 rpm) manyetik karıştırıcıda karıştırma işlemi yapılmıştır. Sentetik suya 45-60 dk arasında çökelme işlemi uygulanmıştır (Resim 4.1).



Resim 4.1. Fenton reaksiyonları sonrası çökelme

#### *\*pH 3' te reaksiyon süresinin $Cr^{6+}$ giderimine etkisi*

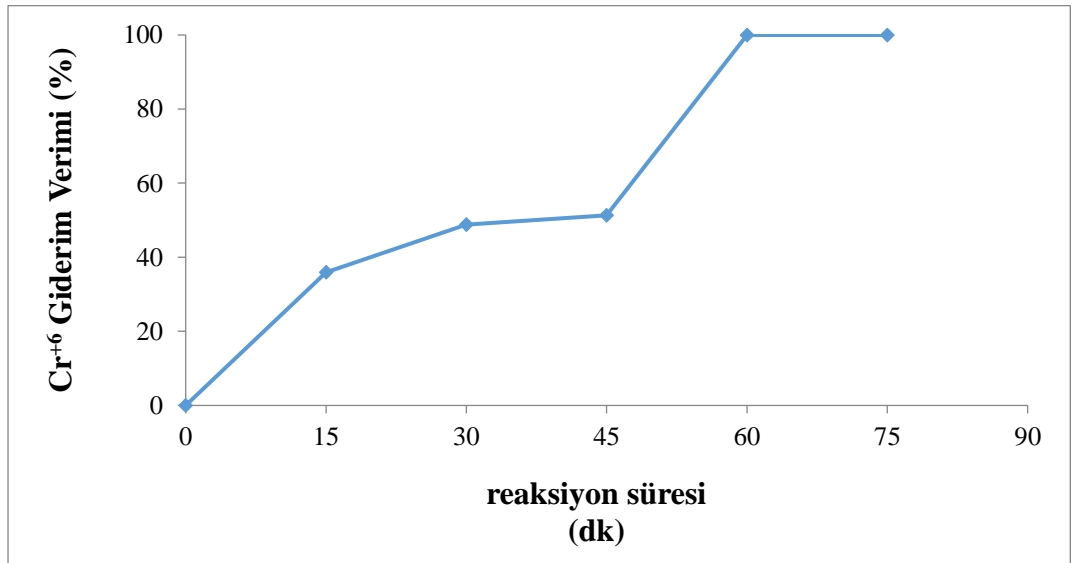
Şekil 4.1'de görüldüğü gibi 200mg/L  $Fe^{+2}$  ve 100mg/L  $H_2O_2$  dozlarında pH 3 değerinde  $Cr^{+6}$  Giderimi açısından reaksiyon süresinin 15. dk'da % 5.44 30. dk'da%59 ve 45 dakika'dan sonra %100 e sabitlenmiş  $Cr^{+6}$  giderim verimi gözlenmektedir. pH 3 için en iyi sonuç 45.dk olarak %100 olarak belirlenmiştir



Şekil 4.1. pH 3' te reaksiyon süresinin Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

**\*pH 3,5 te reaksiyon süresinin Cr<sup>6+</sup>giderimine etkisi**

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi 200mg/L Fe<sup>2+</sup> ve 100mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında pH 3.5 değerinde Cr<sup>6+</sup> Giderimi açısından reaksiyon süresinin 15.dk da % 35.93 30. dk'da %48.77 ve 45 % 51.31 60. dakikadan sonra %100'e sabitlenmiş Cr<sup>6+</sup> giderim verimi gözlenmektedir. pH 3.5 için en iyi sonuç 60.dk da %100 olarak belirlenmiştir.

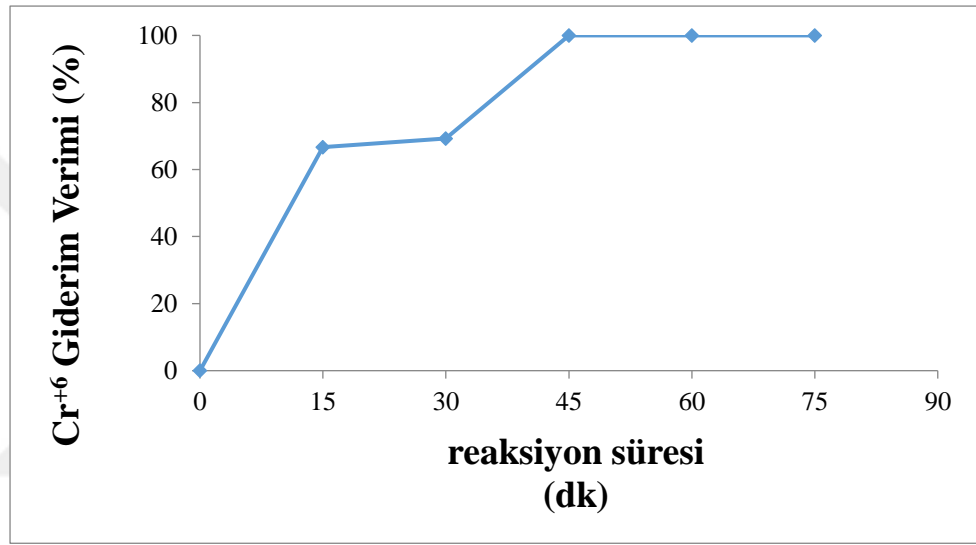


Şekil 4.2. pH 3,5 te reaksiyon süresinin Cr<sup>6+</sup>giderimine etkisi



***\*pH 4' te reaksiyon süresinin Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi***

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi 200mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 100mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında pH 4 değerinde Cr<sup>+6</sup> giderimi açısından reaksiyon süresinin 15 dk da % 66.70 30. dk da%69.24 ve 45 dakikadan sonra %100 e sabitlenmiş Cr<sup>+6</sup> giderim verimi gözlenmektedir pH 4 için en iyi sonuç 45.dk olarak %100 olarak belirlenmiştir.



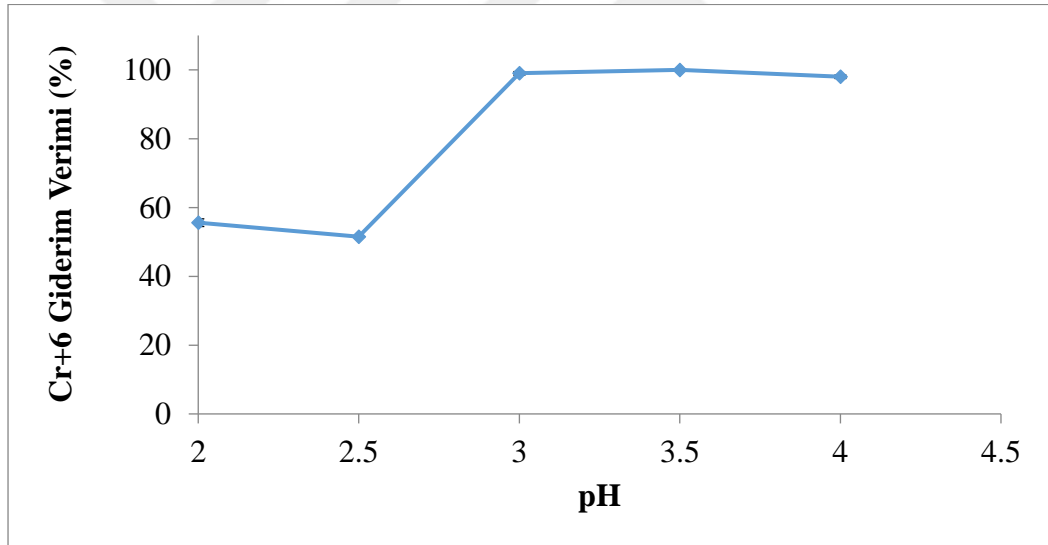
Şekil 4.3. pH 4' te reaksiyon süresinin Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

***\*pH ya bağlı krom giderimi***

Sentetik Suyun pH Seçimi için 2-4 arasında tarama yapılmıştır (Tablo 4.1). 3M NaOH ve 1M HCl ile pH 2,2.5,3,3.5,4 değerlerine ayarlanmıştır ve sentetik suyun pH değeri 6.20'dir. Her bir numuneye 200mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 100mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilerek 5 dk yavaş (100 rpm) 55 dk hızlı (600 rpm) manyetik karıştırıcıda karıştırma işlemi yapılmıştır.

Tablo 4.1. pH' nın Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi

pH	%Cr <sup>+6</sup> Giderimi ve Standart sapma
2	55.5±1.1
2,5	51.5±0.0
3	99.0±0.5
3,5	100±0.0
4	98.0±0.5

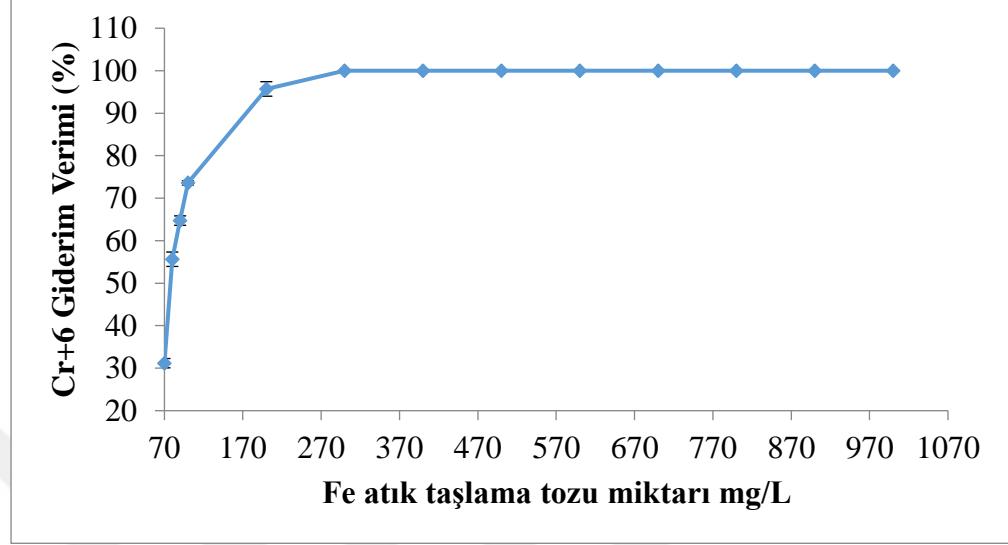


Şekil 4.4. pH' nın Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi 200mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 100mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında pH 2, 2.5, 3, 3.5, 4 değerlerinde Cr<sup>+6</sup> giderimi açısından pH 2 %55.58±1,15 ve pH 2.5 %51.52±0 dir. pH 3'ten sonra pH değerinin giderim verimini çok etkilemediği gözlenmektedir. Artış miktarı ondalık değerler gösterdiğinde sadece pH 3.5 de %100±0 verim sağlanmıştır (Tablo 4.1).

*\*Atık taşıma tozu miktarının Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi*

Uygun Taşlama tozu dozu seçiminde pH değeri 3.5 ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozu 100mg/Lde sabit tutularak farklı Taşlama tozu dozları taranmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Atık taşlama tozu miktarının Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi

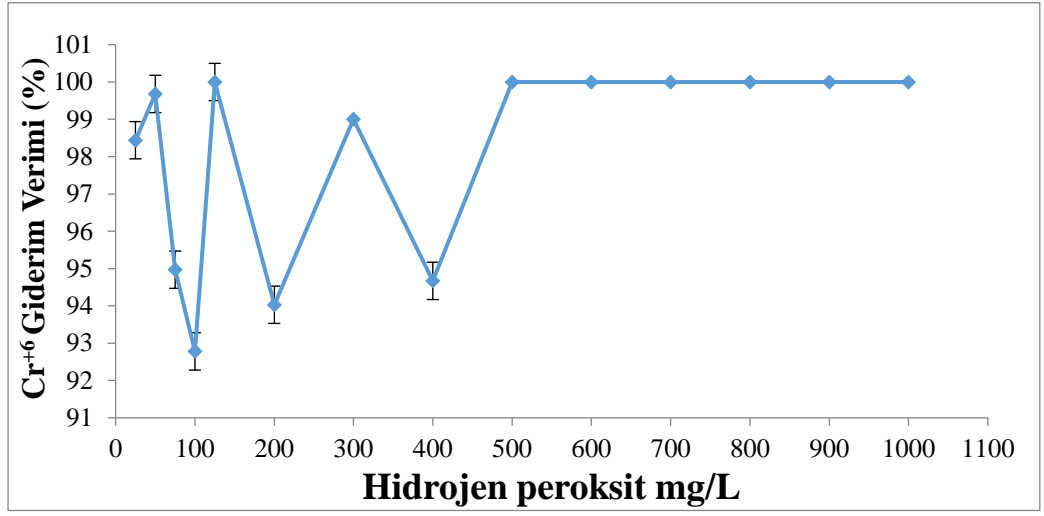
70mg/L ve 1000mg/L arasında değişen miktarlarda Taşlama tozu ilave edilmiştir. Arıtma sonucunda Cr<sup>+6</sup> giderimi açısından en iyi doz 200mg/L %95.71±1,73 ve 300mg/L den sonra Cr<sup>+6</sup> giderimi %100 olarak belirlenip daha üst derişimlerde %100±0 olarak sabitlenmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4. 2. Atık taşıma tozu miktarının  $Cr^{+6}$  giderimine etkisi

Atık Taşıma tozu mg/L	% $Cr^{+6}$ Giderimi Standart Sapma
70	31.1±1.1
80	55.6±1.7
90	64.7±1.1
100	73.6±0.5
200	95.7±1.7
300	100±0.0
400	100±0.0
500	100±0.0
600	100±0.0
700	100±0.0
800	100±0.0
900	100±0.0
1000	100±0.0

***\* $H_2O_2$  miktarının  $Cr^{+6}$  giderimine etkisi***

Optimum  $H_2O_2$  dozunun belirlenmesinde en uygun pH değeri 3.5 ve 200mg/L  $Fe^{+2}$  dozu sabit tutularak farklı  $H_2O_2$  dozlarında çalışılmıştır (Şekil 4.6).



Şekil 4. 6. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi

25mg/L-1000mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilmiştir. Arıtma sonucunda Cr<sup>+6</sup> giderimi açısından en iyi doz 25mg/L %98.44±0,58 50mg/L %99.64±0,58 75 mg/L %94.97 ±0,58 100mg/L %92.78±0,58 125mg/L %100.0±0,58 verim sağlamıştır. Maliyet açısından 25mg/L olarak karar verilmiştir. (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

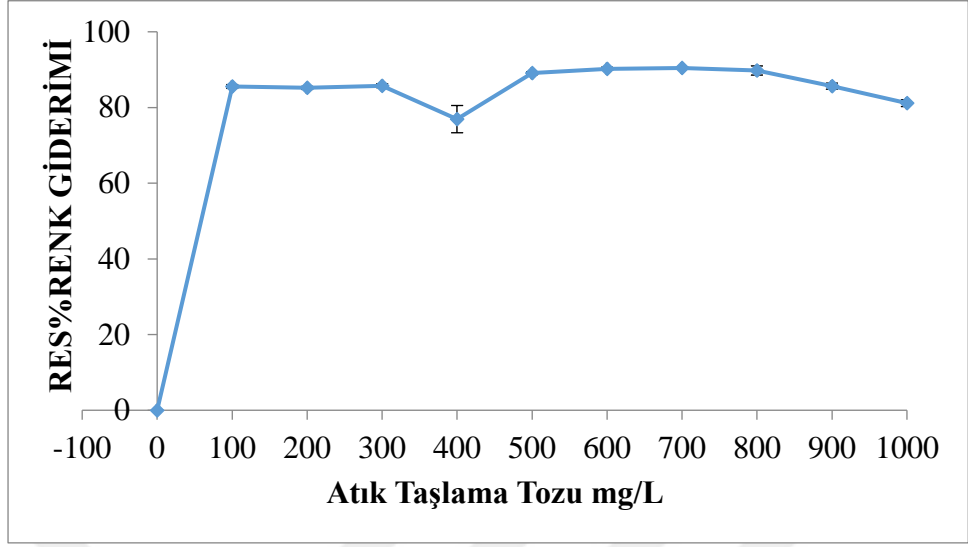
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> mg/L	%Cr <sup>6+</sup> Giderimi Standart sapma
25	98.4±0.5
50	99.6±0.5
75	94.9±0.5
100	92.7±0.5
125	100.0±0.5
200	94.0±0.5
300	99.0±0.0
400	94.6±0.5
500	100±0.0
600	100±0.0
700	100±0.0
800	100±0.0
900	100±0.0
1000	100±0.0

***\*Atık taşlama tozu miktarının Renk (RES)giderimine etkisi***

Optimum renk giderimi Atık taşlama tozu için 436nm aralığı 525nm ve 620 nm değerlerinde yapılan ölçümler sonucu ise en iyi renk giderimi 700mg/L için %90.43±0,58dir (Tablo 4.4 ve Şekil 4.7).

Tablo 4. 4. Atık taşlama tozu miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

<b>Atık taşlama tozu mg/l</b>	<b>436nm</b>	<b>525nm</b>	<b>620 nm</b>	<b>RES (m<sup>-1</sup>)</b>
100	2.46±0.58	1.00±1.00	1.16±0.58	1.54±0.5
200	2.06±0.58	0.96±0.58	1.73±1.00	1.58±0.4
300	1.80±1.00	1.26±1.00	1.50±0.00	1.52±0.5
400	1.70±3.60	1.00±0.00	0.90±0.00	2.46±3.6
500	0.96±0.58	1.80±0.00	0.76±0.58	1.17±0.4
600	0.96±0.58	1.60±0.00	0.56±0.58	1.04±0.4
700	1.10±0.00	1.50±0.00	0.46±0.58	1.02±0.3
800	1.00±0.00	1.16±1.52	1.13±0.58	1.09±1.2
900	1.46±0.58	1.03±1.15	2.1±1.00	1.53±0.8
1000	2.30±0.00	1.73±1.15	2.0±0.00	2.01±0.9



Şekil 4. 7. Atık taşlama tozu miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

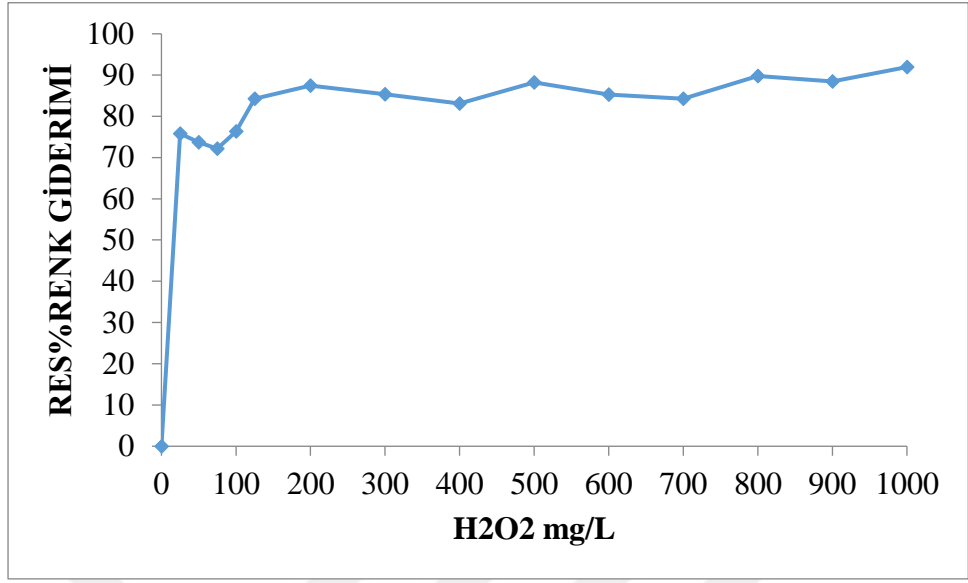


**\*H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi**

Optimum renk giderimi Atık taşıma tozu için Hidrojen peroksit taraması sonucunda 436nm aralığı 525nm ve 620 nm değerlerinde yapılan ölçümler sonucu ise en iyi renk giderimi 1000mg/L için %91.93±0,58 dir (Tablo 4.5 ve Şekil 4.8).

Tablo 4. 5. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> mg/L	436nm	525nm	620nm	RES (m <sup>-1</sup> )
25	4.26±0.58	2.13±0.58	1.36±0.58	2.58±0.58
50	6.23±1.15	1.16±0.58	1.03±0.58	2.80±0.58
75	7.50±0.00	0.70±0.00	0.73±0.58	2.97±0.30
100	5.06±0.58	1.80±0.00	0.70±0.00	2.52±0.30
125	2.26±0.58	1.06±0.58	1.73±0.58	1.68±0.58
200	1.16±0.58	1.86±0.58	1.00±0.00	1.34±0.40
300	1.50±0.00	2.03±0.58	1.16±0.58	1.56±0.40
400	2.00±0.00	2.30±0.00	1.10±0.00	1.80±0.00
500	1.86±0.58	1.13±0.58	0.80±0.00	1.26±0.40
600	3.00±0.00	1.16±0.58	0.56±0.58	1.57±0.40
700	2.43±0.00	1.73±1.15	0.90±0.00	1.68±0.90
800	0.96±0.58	1.76±0.58	0.56±0.58	1.09±0.58
900	0.66±1.52	1.70±0.00	1.33±0.58	1.23±1.20
1000	0.43±0.58	0.96±0.00	1.20±0.00	0.86±0.30



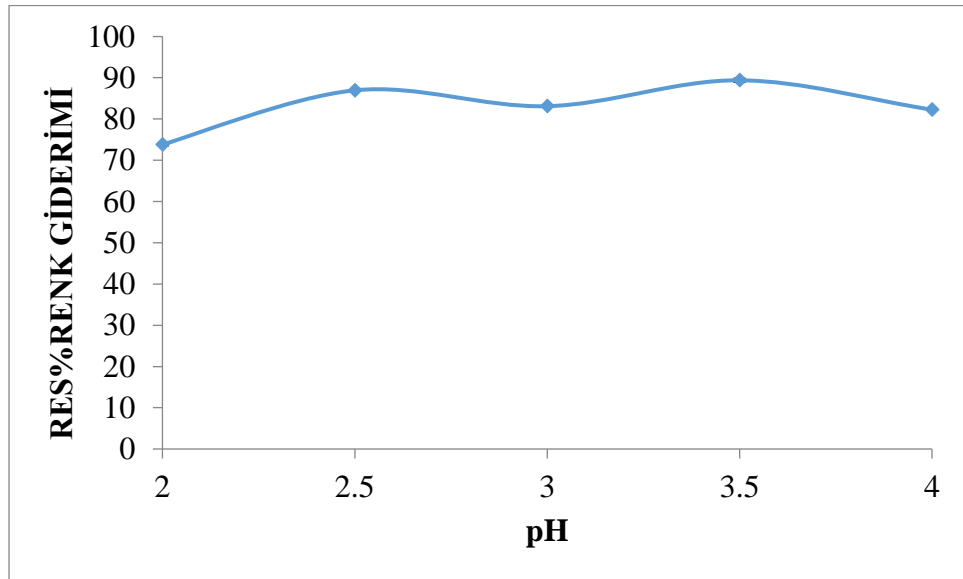
Şekil 4. 8. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

**\*pH 'ın Renk (RES) giderimine etkisi**

Optimum renk giderimi Atık taşıma tozu için 436nm aralığı 525nm ve 620 nm değerlerinde yapılan ölçümler sonucu pH 2'de %73,81±0,58 pH 2,5 değerinde %86,96±0,58 dir (Tablo 4.6). pH 3 için %83,11±0 dir. pH 4 için 82,27±0,58 ve en iyi renk giderimi ise pH 3,5 için %89,39±0 dir (Şekil 4.9).

Tablo 4.6. pH 'ın Renk (RES) giderimine etkisi

pH	436nm	525nm	620nm	RES (m <sup>-1</sup> )
2	6.03±0.58	1.26±0.58	1.10±0.00	2.79±0.4
2.5	1.86±0.58	1.10±0.00	1.23±0.58	1.39±0.4
3	2.70±0.00	1.20±0.00	1.50±0.00	1.80±0.0
3.5	2.00±0.00	0.70±0.00	0.70±0.00	1.13±0.0
4	4.26±0.58	0.86±0.58	0.56±0.58	1.89±0.5



Şekil 4.9. pH 'ın Renk (RES) giderimine etkisi

#### 4.2. FeSO<sub>4</sub> 950 ppm atık su ile yapılan optimizasyon çalışması

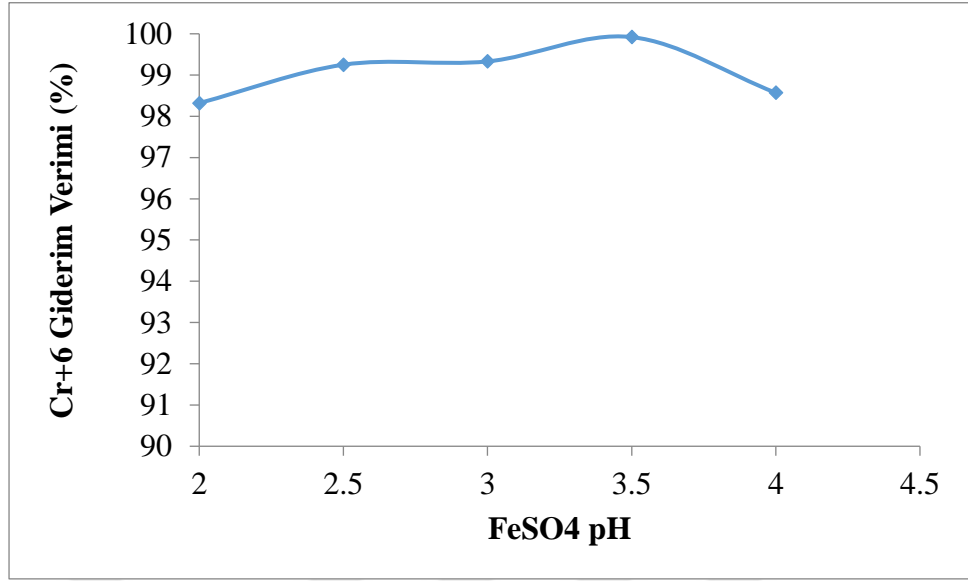
*\*pH miktarının Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi*

3M NaOH ve 1M HCl ile pH 2,2.5,3,3.5,4 değerlerine ayarlanmıştır. Her bir numuneye 300mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 200mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilerek 5 dk Hızlı 55 dk Yavaş karıştırma işlemiyle 45-60 dk arasında çökelme işlemi uygulanmıştır. Atık Suyun pH Seçimi için 2-4 arasında tarama yapılmıştır. Atık Suyun pH Değeri 6.30 dur (Tablo 4.7).

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi 300mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 200mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında pH 2,2.5,3,3.5,4 değerlerinde Cr<sup>+6</sup> Giderimi açısından pH değerinin giderim verimini çok etkilemediği gözlenmektedir. artış miktarı ondalık değerler gösterdiğinde en iyi sonuç pH 3.5 te %99.92 ±0,58 olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. 7. pH miktarının Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi

pH	%Cr <sup>6+</sup> Giderimi Standart sapma
2	98.3±0.5
2,5	99.2±0.0
3	99.3±0.5
3,5	99.9±0.5
4	98.5±0.5



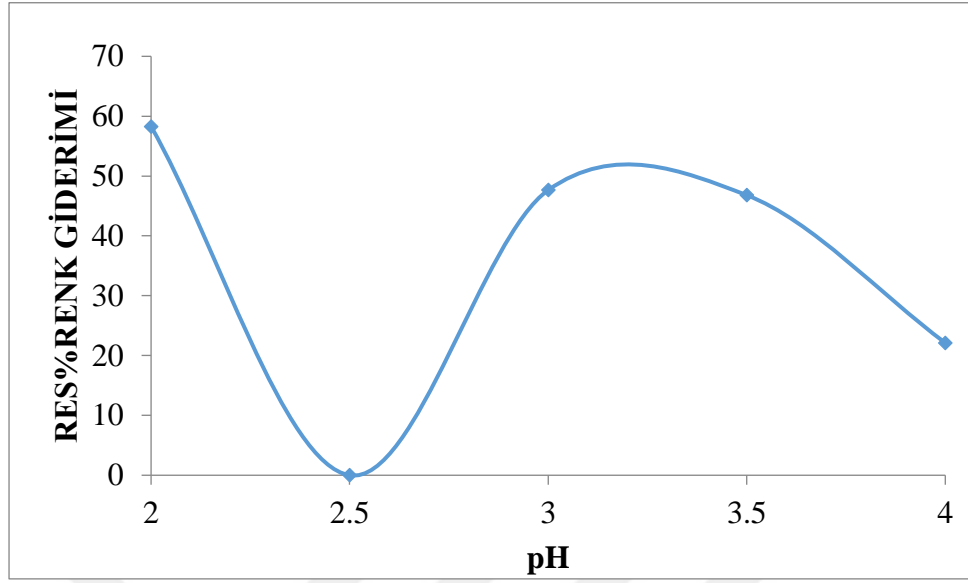
Şekil 4. 10. pH miktarının Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi

**\*pH miktarının Renk (RES)giderimine etkisi**

Optimum renk giderimi FeSO<sub>4</sub> için 436nm,525nm ve 620 nm' de yapılan ölçümler için pH 2,5 değerinde %0±0 olarak hiç giderim sağlanamamıştır.En iyi renk giderimi için pH 2' de %58,29±0,58 olarak giderim sağlanmıştır (Tablo 4.8 ve Şekil 4.11 ).

Tablo 4. 8. pH miktarının Renk (RES)giderimine etkisi

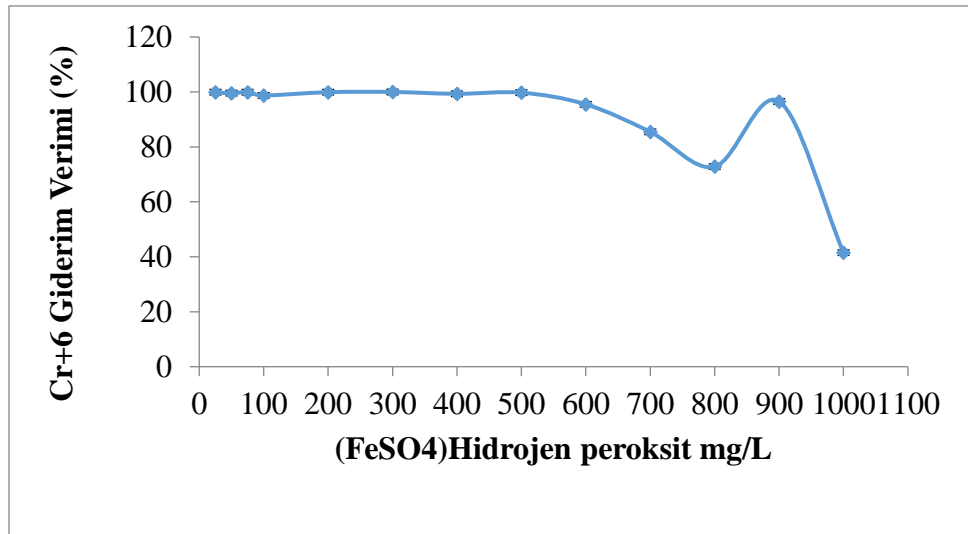
pH	436nm	525nm	620nm	RES (m <sup>-1</sup> )
2	2.4±1.52	2.0±0.58	1.5±0.58	1.96±1.1
2.5	5.1±1.00	5.7±1.15	3.8±0.00	4.86±1.1
3	2.1±1.15	2.8±0.00	2.5±0.58	2.46±1.2
3.5	2.9±0.58	2.5±0.58	2.1±1.00	2.50±0.4
4	4.0±0.58	4.2±1.00	2.8±0.58	3.66±0.4



Şekil 4. 11. pH miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

**\*H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi**

Dozu sabit tutularak farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında çalışılmıştır. 25mg/L-1000mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilmiştir. Arıtma sonucunda Cr<sup>+6</sup> giderimi açısından en iyi doz 25mg/L ve 75 mg/L değerleri %99.92±0 verim sağlamıştır. Maliyet açısından 25mg/L olarak karar verilmiştir (Şekil 4.12) Tablo 4.9'de de yer verilen sonuçlara göre optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozunun belirlenmesinde en uygun pH değeri 3.5 ve 300mg/L Fe<sup>+2</sup> olarak tespit edilmiştir.



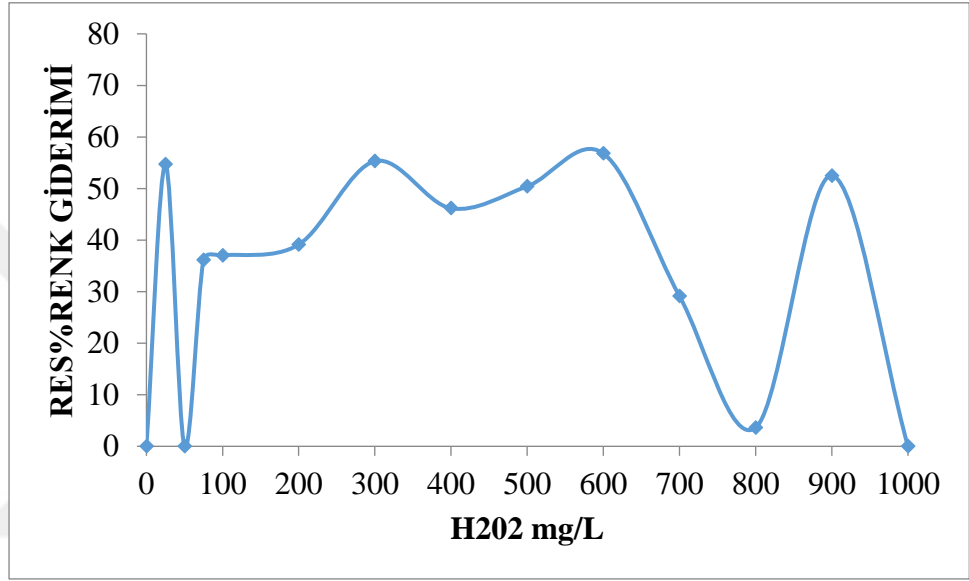
Şekil 4. 12. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi

Tablo 4. 9. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Cr<sup>+6</sup> giderimine etkisi

<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mg/L</b>	<b>%Cr<sup>+6</sup>Giderimi Standart sapma</b>
25	99.92±0.0
50	99.50±0.5
75	99.90±0.5
100	98.70±0.5
200	99.90±0.5
300	100±0.0
400	99.30±0.5
500	99.70±0.5
600	95.50±1.0
700	85.50±1.1
800	72.80±0.5
900	96.50±0.5
1000	41.50±0.5

**\*H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi**

Optimum renk giderimi FeSO<sub>4</sub> için 436nm,525nm'de ve 620nm'de yapılan analizler sonucu 25mg/L değerinde %54,68±0,58 ve 300mg/L için %55,31±0,58 dir. 50 mg/L ve1000mg/L de ise renk giderimi sağlanamamıştır (Şekil 4.13 ve Tablo 4.10).



Şekil 4. 13. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Renk (RES)giderimine etkisi



Tablo 4. 10. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

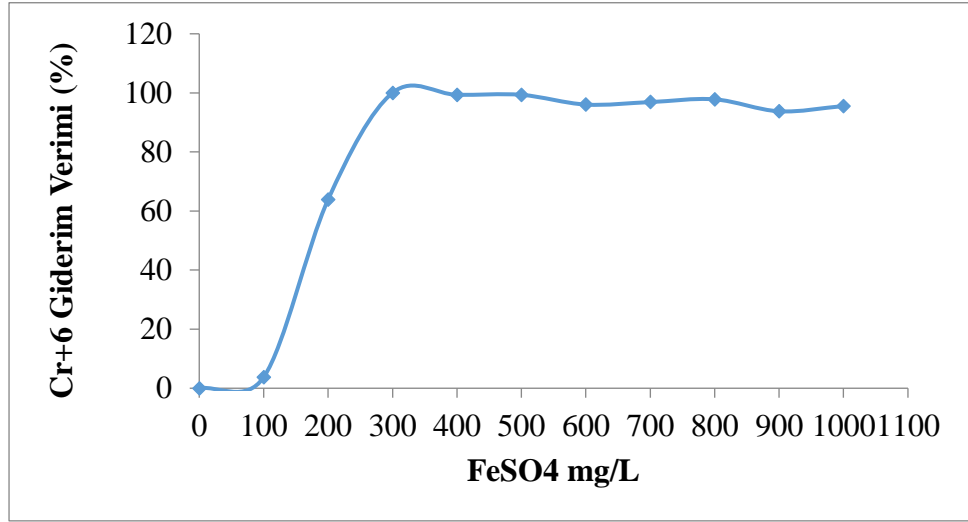
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> mg/L	436nm	525nm	620 nm	RES (m <sup>-1</sup> )
25	2.00±0.58	2.4±0.58	2.0±0.58	2.1±0.5
50	7.50±0.58	6.1±0.58	3.8±0.58	5.8±0.5
75	3.90±0.58	2.3±0.58	2.8±0.58	3.0±0.5
100	3.80±0.58	3.0±0.58	2.1±1.15	2.9±0.8
200	2.20±2.08	3.8±0.58	2.6±1.00	2.8±1.8
300	2.80±1.15	1.8±0.58	1.7±0.58	2.1±0.8
400	3.00±0.58	2.1±1.15	2.5±0.58	2.5±0.8
500	2.90±0.58	2.1±0.58	2.0±0.58	2.3±0.5
600	3.20±0.58	2.1±0.58	0.8±1.00	2.0±0.4
700	6.00±1.15	2.3±1.00	1.7±0.58	3.3±0.8
800	10.80±2.08	1.8±0.58	1.0±0.58	4.5±1.8
900	3.20±0.58	2.0±0.58	1.5±0.00	2.2±0.3
1000	21.80±0.58	1.4±0.58	1.7±0.58	8.3±0.5

***\*FeSO<sub>4</sub> miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi***

Uygun FeSO<sub>4</sub> dozu seçiminde pH değeri 3.5 ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozu 25mg/Lde sabit tutularak farklı FeSO<sub>4</sub> dozları taranmıştır. 100mg/L ve 1000mg/L arasında değişen miktarlarda FeSO<sub>4</sub> ilave edilmiştir. Arıtma sonucunda Cr<sup>6+</sup> giderimi açısından en iyi doz 300mg/L %100±0,58 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.11 ve Şekil 4.14 ).

Tablo 4. 11. FeSO<sub>4</sub> miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

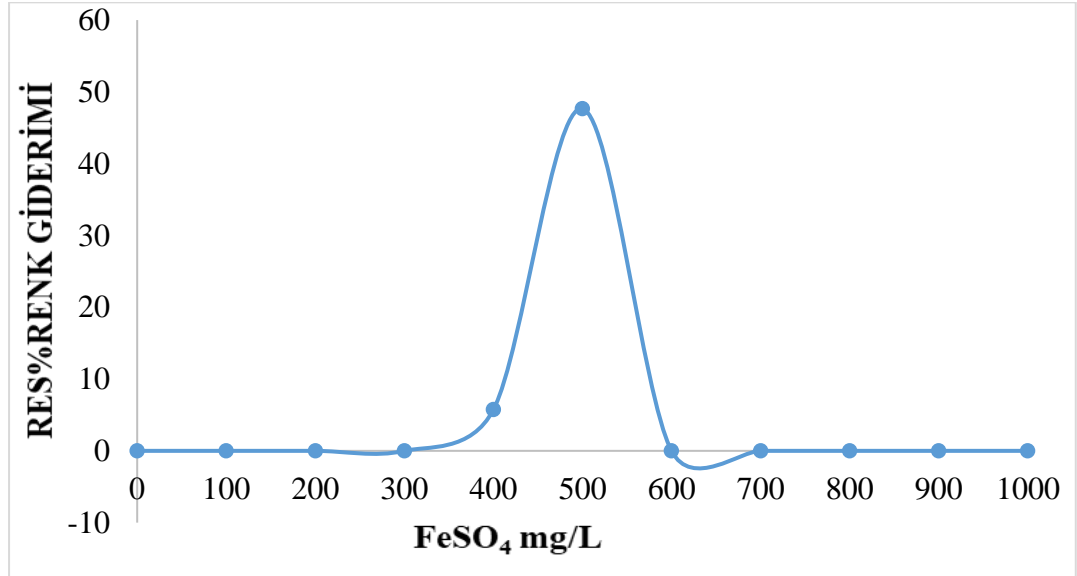
<b>FeSO<sub>4</sub> mg/L</b>	<b>%Cr<sup>6+</sup>Giderimi Standart sapma</b>
100	3.7±0.5
200	63.8±0.5
300	100±0.5
400	99.3±0.5
500	99.3±0.0
600	96.0±0.5
700	96.8±0.0
800	97.8±0.5
900	93.7±0.5
1000	95.5±0.5



Şekil 4. 14. FeSO<sub>4</sub> miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

**\*FeSO<sub>4</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi**

Optimum renk giderimi FeSO<sub>4</sub> için 436nm 525 nm ve 620 nm de aralığı için 500mg/L değerinde %47,65±1dir. ve 400mg/L %5,74±1dir. Diğer değerlerde renk giderimi sağlanamamıştır (Şekil 4.15 ve Tablo 4.12).



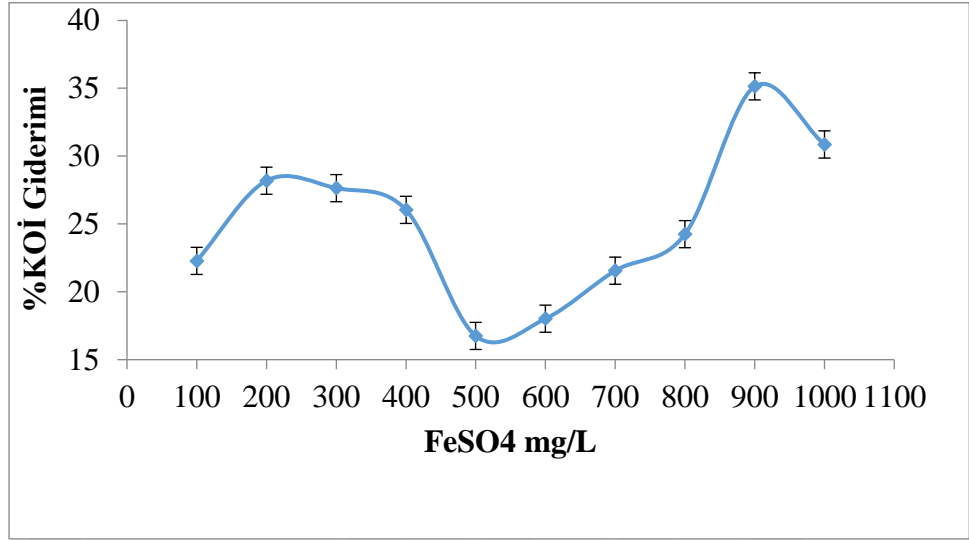
Şekil 4. 15. FeSO<sub>4</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

Tablo 4. 12. FeSO<sub>4</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

FeSO <sub>4</sub> mg/L	436nm	525nm	620 nm	RES (m <sup>-1</sup> )
100	64.3±0.58	2.2±1.73	3.1±1.15	23.2±1.4
200	18.8±0.58	2.1±1.00	2.3±0.00	7.7±0.6
300	7.6±1.00	6.1±1.15	3.0±0.58	5.5±0.8
400	7.6±1.00	2.3±2.88	3.4±0.58	4.4±2.7
500	2.6±1.00	2.3±0.58	2.5±0.58	2.4±0.4
600	6.8±0.58	12.9±0.58	12.3±3.21	10.6±3.0
700	34.8±1.73	35.7±6.08	29.1±1.00	33.2±5.9
800	5.7±0.58	12.7±1.52	12.0±0.58	10.1±1.2
900	37.2±0.58	75.2±3.05	57.5±1.00	56.6±2.9
1000	80.0±2.00	77.9±1.73	55.3±3.21	71.0±2.4

**\* FeSO<sub>4</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi**

Uygun FeSO<sub>4</sub> dozu seçiminde pH değeri 3.5 ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozu 25mg/Lde sabit tutularak farklı FeSO<sub>4</sub> dozları taranmıştır. 100mg/L ve 1000mg/L arasında değişen miktarlarda FeSO<sub>4</sub> ilave edilmiştir. Arıtma sonucunda KOİ giderimi açısından en iyi sonuç 900mg/L ile %35.14±3,21 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.16 ve Tablo 4.13).



Şekil 4. 16. FeSO<sub>4</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi

Tablo 4. 13. FeSO<sub>4</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi

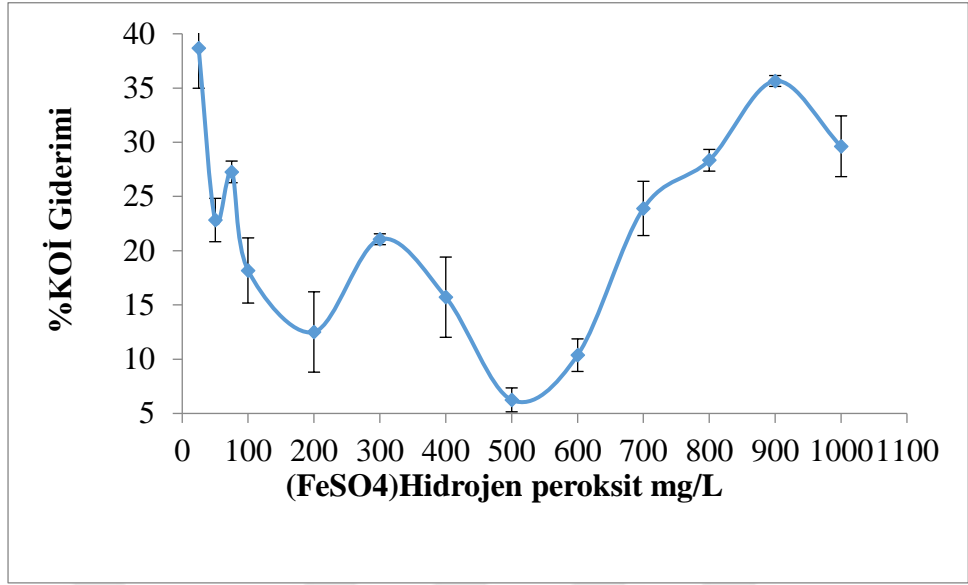
FeSO <sub>4</sub> mg/L	%KOİ Giderimi& Standart sapma
100	22.2±0.5
200	28.1±0.5
300	27.6±5.7
400	26.0±2.3
500	16.7±4.0
600	18.0±5.7
700	21.5±2.0
800	24.2±1.5
900	35.1±3.2
1000	30.8±5.7

***\*H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi***

Optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozunun belirlenmesinde en uygun pH değeri 3.5 ve 300mg/L Fe<sup>+2</sup>Dozu sabit tutularak farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında çalışılmıştır. 25mg/L-1000mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilmiştir. Arıtma sonucunda KOİ giderimi için en iyi sonuç 25mg/L ve %38.68±3,78 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.14 ve Şekil 4.17).

Tablo 4. 14. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi

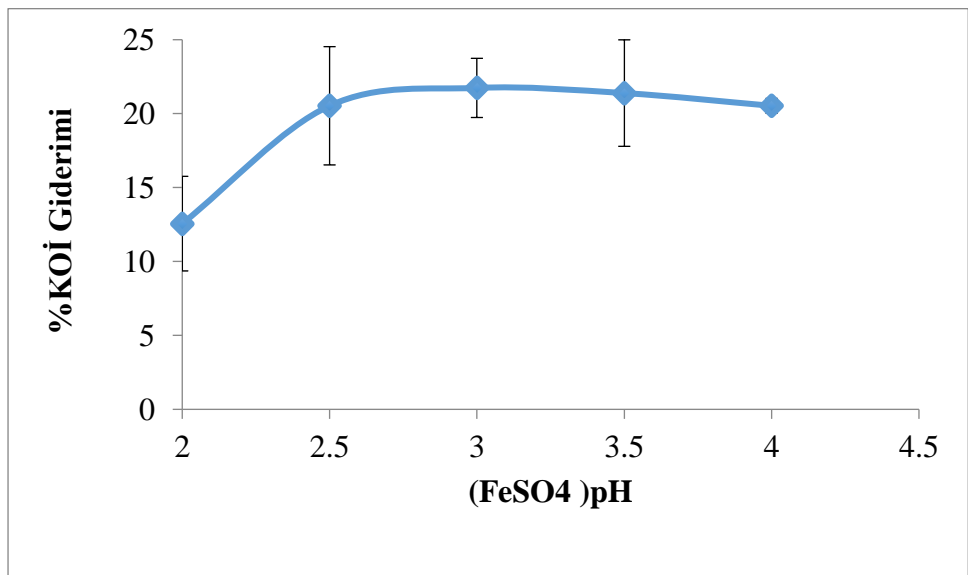
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mg/L</b>	<b>%KOİ Giderimi Standart sapma</b>
25	38.6±3.7
50	22.8±2.0
75	27.2±1.0
100	18.1±3.0
200	12.5±3.7
300	21.0±0.5
400	15.7±3.7
500	6.25±1.1
600	10.3±1.5
700	23.9±2.5
800	28.3±1.0
900	35.6±0.5
1000	29.6±2.8



Şekil 4. 17. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi

**\*pH miktarının KOİ giderimine etkisi**

Şekilde görüldüğü gibi 300mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 200mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında pH 2,2.5,3,3.5,4 değerlerinde pH 2 hariç pek değişmemekle birlikte KOİ giderimi açısından en iyi sonuç pH 3 te %21.74±2,08 olarak belirlenmiştir (Şekil 3.18 ve Tablo 3.15).



Şekil 4. 18. pH miktarının KOİ giderimine etkisi

Tablo 4. 15. pH miktarının KOİ giderimine etkisi

<b>pH</b>	<b>%KOİ Giderimi Standart sapma</b>
2	12.5±3.2
2,5	20.5±4.0
3	21.7±2.0
3,5	21.3±3.6
4	20.5±0.5

#### 4.3. Atık Taşlama Tozu ile 950 ppm Atık Suyun Optimizasyonu

##### *\*pH miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi*

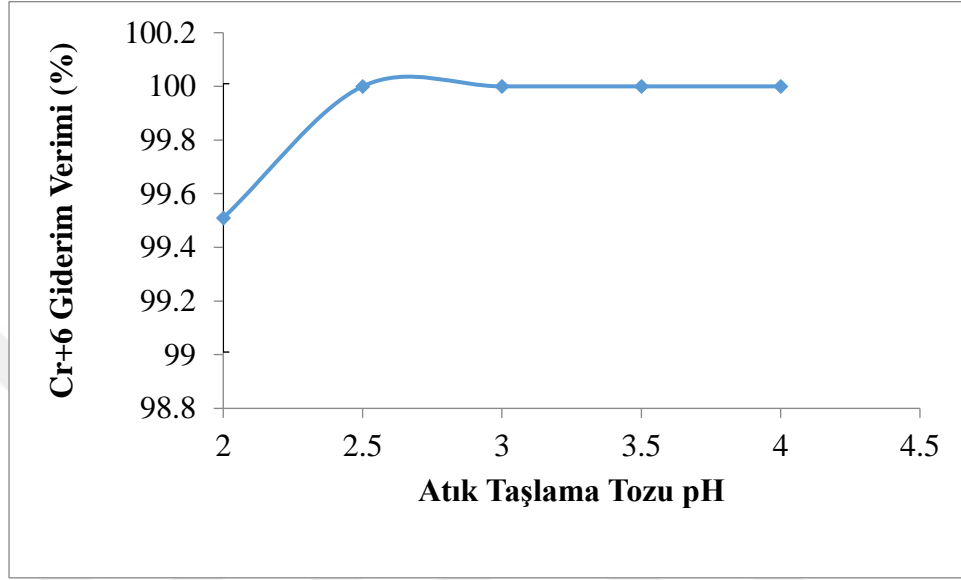
Atık Suyun pH Seçimi için 2-4 arasında tarama yapılmıştır (Tablo 4.16).

Tablo 4. 16. pH miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

<b>pH</b>	<b>%Cr<sup>6+</sup>Giderimi Standart sapma</b>
2	99.5±0.5
2,5	100±0.0
3	100±0.0
3,5	100±0.0
4	100±0.0



3M NaOH ve 1M HCl ile pH 2,2.5,3,3.5,4 değerlerine ayarlanmıştır. Ham Atık suyun pH değeri 6.30'dur. Her bir numuneye 300mg/L  $Fe^{+2}$  ve 200mg/L  $H_2O_2$  ilave edilerek 5 dk yavaş (100 rpm) 55 dk hızlı (600 rpm )manyetik karıştırıcıda karıştırma işlemi yapılmıştır. 45-60 dk arasında çökelme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4 19. pH miktarının  $Cr^{6+}$  giderimine etkisi

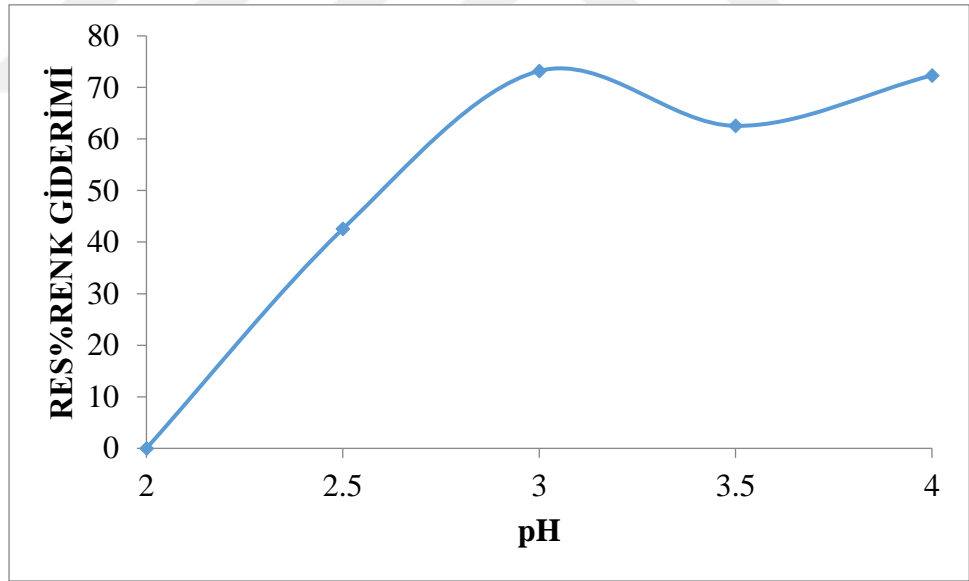
Şekil 3.19'da görüldüğü gibi 300mg/L  $Fe^{+2}$  ve 200mg/L  $H_2O_2$  dozlarında pH 2,2.5,3,3.5,4 değerlerinde  $Cr^{+6}$  Giderimi açısından pH değerinin giderim verimini çok etkilemediği gözlenmektedir. artış miktarı ondalık değerler gösterdiğinde sadece pH 2 de %99.51 ±0,58 diğer pH larda ise %100±0 verim sağlanmıştır.

***\*pH miktarının Renk (RES)giderimine etkisi***

Atık taşlama tozu için 436nm,525nm'de ve 620 nm aralığı için pH 2 değerinde 0±0 hiç renk giderimi sağlanamamıştır. en iyi renk giderimi ise pH 3,5 te %73,19±0,58 giderim verimi sağlanmıştır (Tablo 4.17 ve Şekil 4.20 ).

Tablo 4. 17. pH miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

<b>pH</b>	<b>436nm</b>	<b>525nm</b>	<b>620nm</b>	<b>RES (m<sup>-1</sup>)</b>
2	41.2±1.73	28.0±0.58	17.6±1.00	28.9±1.4
2.5	2.6±2.00	2.5±0.00	3.0±0.00	2.7±2.2
3	2.5±0.58	0.3±0.58	1.0±0.58	1.2±0.5
3.5	2.5±0.58	0.8±0.58	2.0±0.58	1.7±0.5
4	2.3±0.00	0.8±0.58	0.8±0.58	1.3±0.4



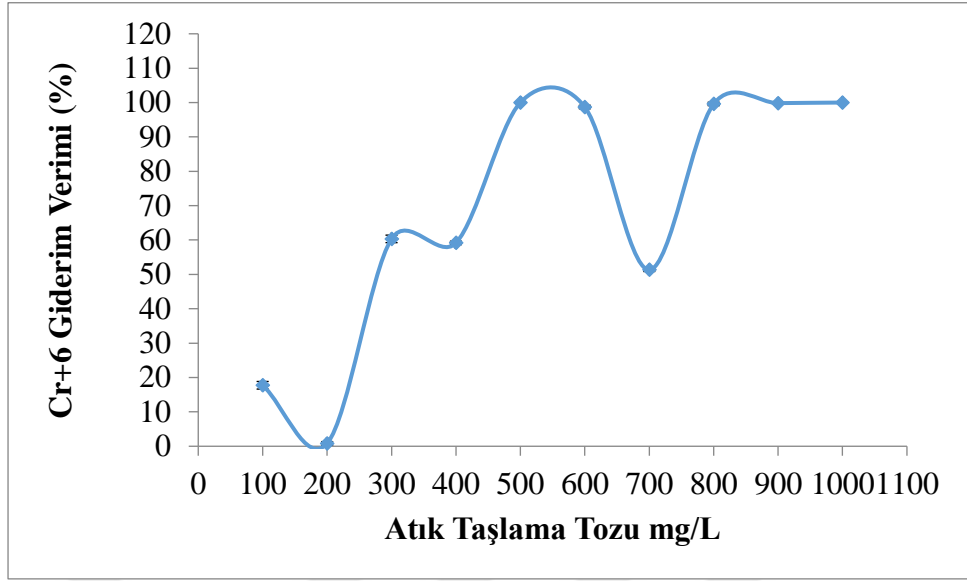
Şekil 4. 20. pH miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

***\*Atık taşıma tozu miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi***

Uygun atık taşıma tozu dozu seçiminde pH değeri 3.5 ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozu 200mg/Lde sabit tutularak farklı Atık taşıma tozu dozları taranmıştır. 100mg/L ve 1000mg/L arasında değişen miktarlarda Atık taşıma tozu ilave edilmiştir. Arıtma sonucunda Cr<sup>6+</sup> Giderimi açısından en iyi doz 500mg/L %100±0 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.18 ve Şekil 4.21).

Tablo 4. 18. Atık taşıma tozu miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

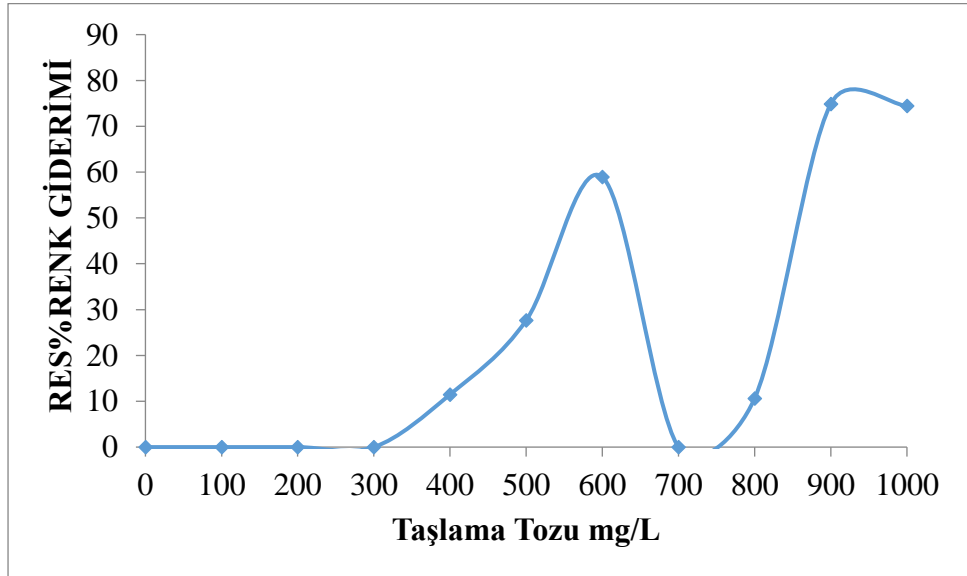
Atık Taşıma tozu mg/L	%Cr <sup>6+</sup> Giderimi Standart sapma
100	17.7±1.1
200	0.85±0.5
300	60.3±1.1
400	59.1±0.5
500	100±0.0
600	98.6±0.5
700	51.3±0.5
800	99.5±0.5
900	99.8±0.0
1000	100±0.0



Şekil 4. 21. Atık taşlama tozu miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

**\*Atık taşlama tozu miktarının Renk (RES)giderimine etkisi**

Optimum renk giderimi Atık taşlama tozu için 436nm,525nmve620 nm' de ölçümler yapılmıştır. 400mg/L ye kadar ve 700mg/L değerinde renk giderimi sağlanamamıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4. 22. Atık taşlama tozu miktarının Renk (RES)giderimine etkisi

En iyi renk giderimleri ise 900mg/L ve 1000mg/L için %74,89±0,58 ve %74,46±0,58 dir (Tablo 4.19).

Tablo 4. 19. Atık taşıma tozu miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

Atık taşıma tozu mg/l	436nm	525nm	620 nm	RES (m <sup>-1</sup> )
100	26.7±2,08	4.4±0,58	1.4±0.58	10.8±1.8
200	30.8±0.58	2.0±0.00	1.2±0.58	11.3±0.4
300	17.6±0.58	9.5±0.58	0.5±0.58	9.2±0.5
400	10.2±0,00	1.1±0.58	1.2±0.00	4.1±0.3
500	1.5±0.58	1.2±0.00	0.7±0.58	3.4±0.4
600	2.8±0.00	1.4±0.58	1.6±0.58	1.9±0.4
700	14.8±1.15	1.8±0.00	2.0±0.58	6.2±1.1
800	5.7±1.15	3.7±1.15	3.2±1.73	4.2±1.3
900	1.56±0.58	1.2±0.58	0.8±0.00	1.1±0.4
1000	1.2±0.00	0.9±1.00	1.5±0.58	1.2±0.6

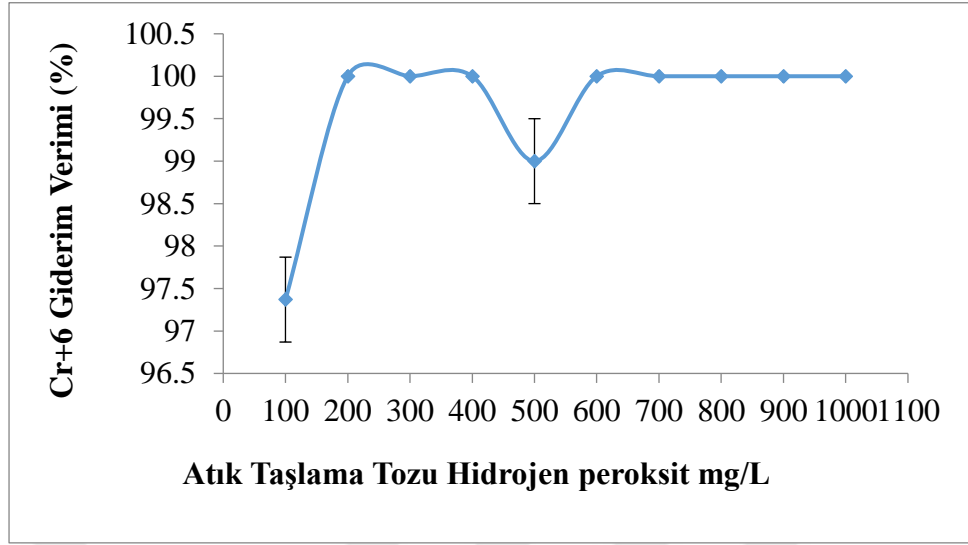
*\*H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi*

Optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozunun belirlenmesinde en uygun pH değeri 3.5 ve 500mg/L Fe<sup>+2</sup> dozu sabit tutularak farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında çalışılmıştır. 100mg/L -1000mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilmiştir (Tablo 4.20).

Tablo 4. 20. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> mg/L	%Cr <sup>6+</sup> Giderimi Standart sapma
100	97.3±0.5
200	100±0.0
300	100±0.0
400	100±0.0
500	99±0.5
600	100±0.0
700	100±0.0
800	100±0.0
900	100±0.0
1000	100±0.0

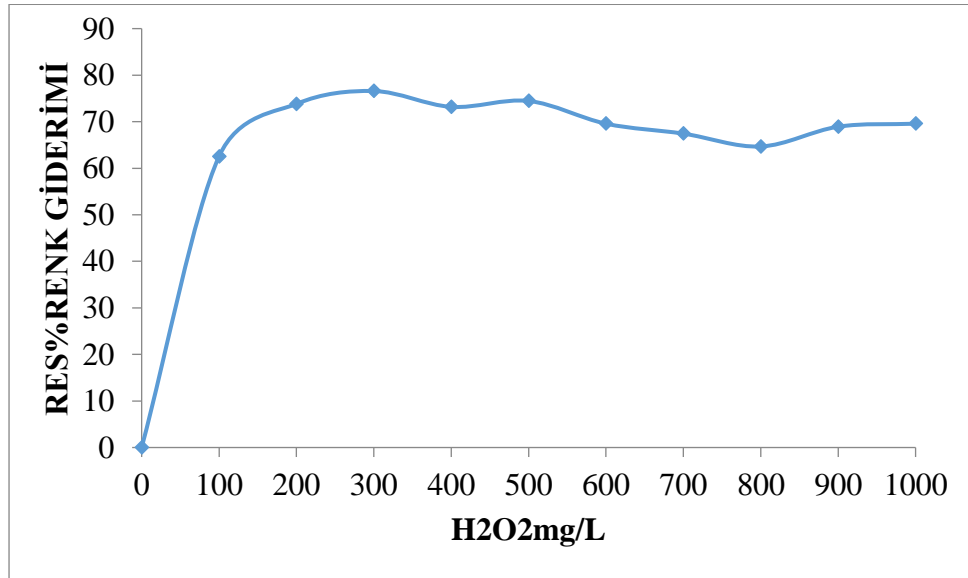
Arıtma sonucunda Cr<sup>+6</sup> giderimi açısından en iyi doz 200mg/l ile %100±0 verim sağlanmıştır. Fakat Cr<sup>+6</sup> giderimi sadece 100 mg/L ve 500mg/L değerlerinde düşüş yaşamıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4. 23. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Cr<sup>6+</sup> giderimine etkisi

**\*H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi**

Optimum renk giderimi Atık taşlama tozu için 436 nm, 525 nm ve 620 nm' de ölçümler yapılmıştır. Tüm değerlerde % 60 üzeri renk giderimi sağlanmıştır fakat en iyi renk giderimi aralığı için 300mg/L % 76,59±0 dir (Şekil 3.24 ve Tablo 3.23).

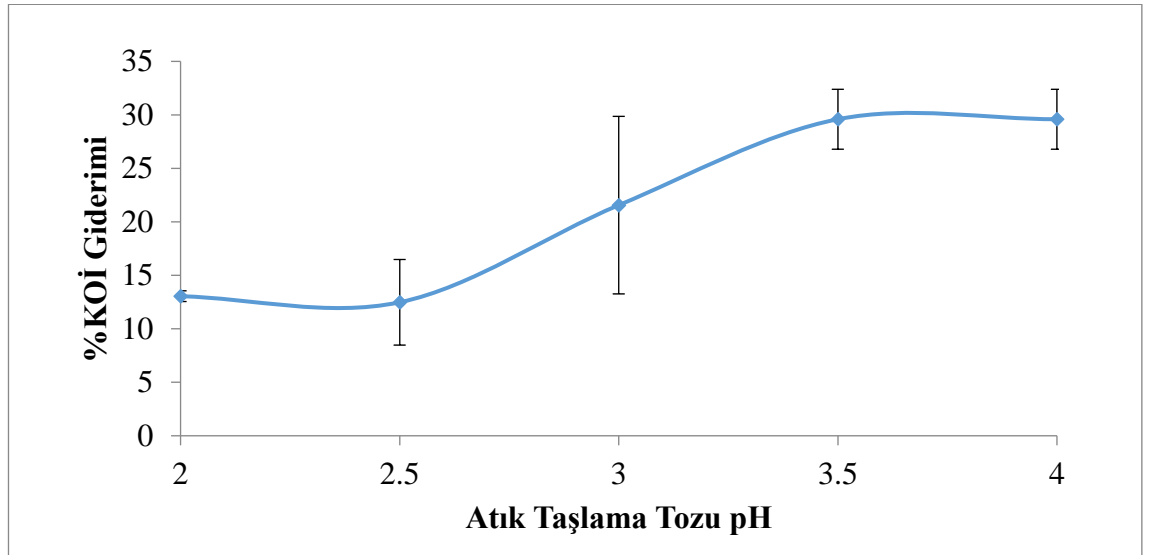


Şekil 4. 24. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

Tablo 4. 21. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının Renk (RES) giderimine etkisi

H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> mg/L	436nm	525nm	620 nm	RES (m <sup>-1</sup> )
100	2.8±0.00	1.1±0.00	1.4±0.58	1.7±0.4
200	1.6±0.00	1.3±1.00	0.8±0.58	1.2±0.6
300	1.3±0.58	1.0±0.58	1.0±0.00	1.1±0.3
400	1.5±0.58	0.8±1.00	1.5±0.00	1.2±0.6
500	1.8±0.58	1.0±0.58	0.8±0.00	1.2±0.4
600	2.0±0.58	0.9±0.00	1.4±1.00	1.4±0.6
700	1.7±0.58	1.1±0.58	1.8±0.58	1.5±0.5
800	2.2±0.00	1.3±0.00	1.5±0.58	1.6±0.3
900	1.2±3.20	1.2±0.58	2.0±0.58	1.4±3.0
1000	2.1±1.15	1.0±0.58	1.2±0.58	1.4±0.8

\*pH miktarının KOİ giderimine etkisi



Şekil 4. 25. pH miktarının KOİ giderimine etkisi



Şekil 4.25'te görüldüğü gibi 300mg/L Fe<sup>+2</sup> ve 200mg/LH<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında Ph 2,2.5,3,3.5,4 değerlerinde KOİ giderimi açısından en iyi sonuç pH 3,5 ve 4 te %29.59 ±2,88 olarak belirlenmiştir (Tablo 4.22).

Tablo 4. 22. pH miktarının KOİ giderimine etkisi

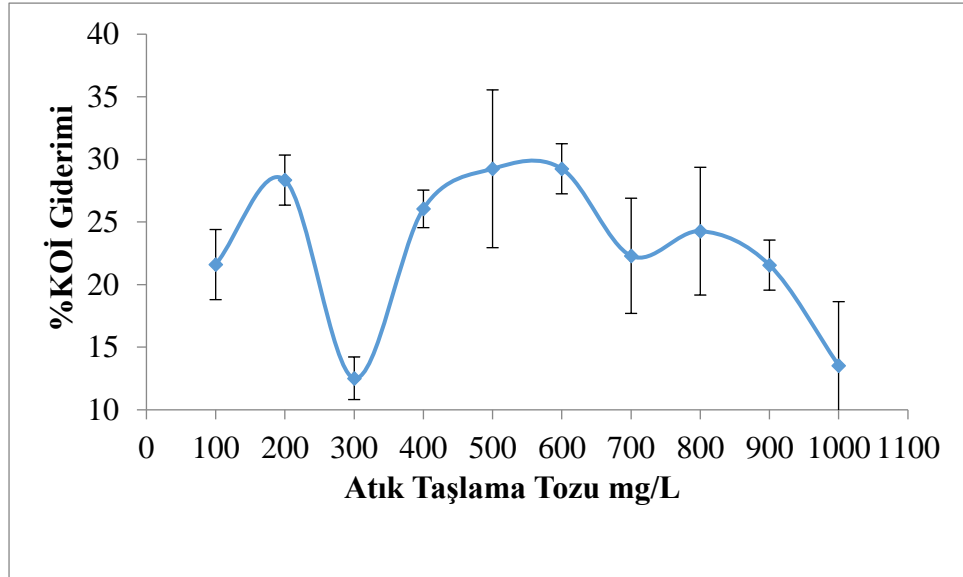
pH	%KOİ Giderimi Standart sapma
2	13.0±0.5
2,5	12.4±4.0
3	21.5±8.3
3,5	29.5±2.8
4	29.5±2.8

***\*Atık Taşlama Tozu miktarının KOİ giderimine etkisi***

Optimum taşlama tozunun dozunun belirlenmesinde en uygun pH değeri 3.5 ve 200mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Dozu sabit tutularak farklı atık taşlama tozu dozlarında çalışılmıştır. 100mg/L-1000mg/L atık taşlama tozu ilave edilmiştir (Tablo 4.23). Arıtma sonucunda KOİ giderimi için en iyi sonuç 500mg/L ve 600 mg/L %29 25±2,88 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.26).

Tablo 4. 23. Atık Taşlama Tozu miktarının KOİ giderimine etkisi

Atık taşlama tozu mg/L	%KOİ Giderimi Standart sapma
100	21.6±2.8
200	28.3±2.0
300	12.5±1.7
400	26.0±1.5
500	29.2±6.3
600	29.2±2.0
700	22.3±4.6
800	24.2±5.1
900	21.5±2.0
1000	13.5±5.1



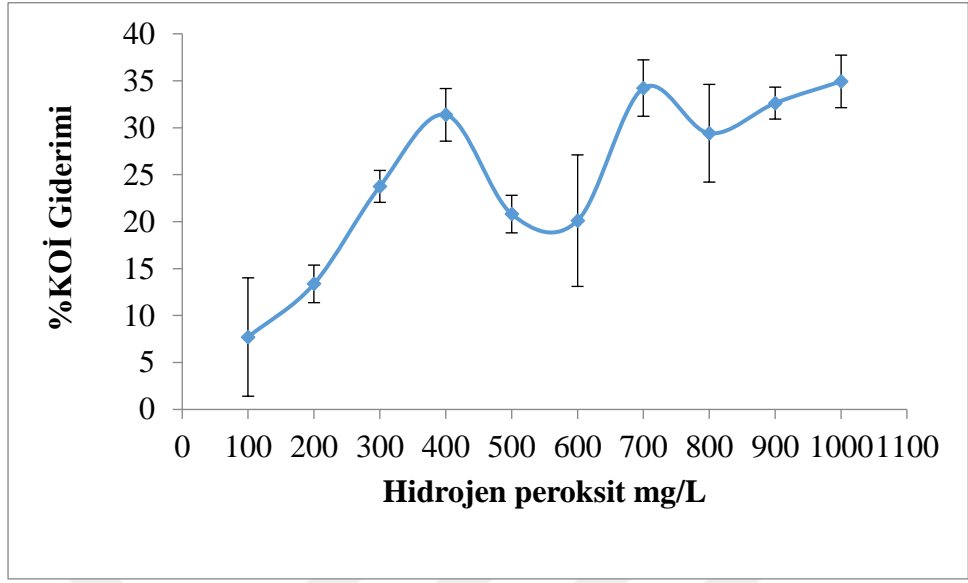
Şekil 4. 26. Atık Taşlama Tozu miktarının KOİ giderimine etkisi

***\*H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi***

Optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozunun belirlenmesinde en uygun pH değeri 3.5 ve 500mg/L Fe<sup>+2</sup> dozu sabit tutularak farklı H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozlarında çalışılmıştır 100mg/L-1000mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilmiştir.

Tablo 4. 24. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi

<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mg/l</b>	<b>%KOİ Giderimi Standart sapma</b>
100	7.7±6.3
200	13.3±2.0
300	23.7±1.7
400	31.3±2.8
500	20.8±2.0
600	20.0±7.0
700	34.2±3.0
800	29.4±5.2
900	32.6±1.7
1000	34.9±2.8



Şekil 4. 27. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının KOİ giderimine etkisi

Arıtma sonucunda KOİ Giderimi açısından en iyi doz 1000mg/l ile en uygun değer %34.93±2,88 verim sağlanmıştır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının her reaksiyonda H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kağıtlarıyla fazla H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarının kontrolü sağlanmıştır. (Şekil 4.27).

## BÖLÜM 5

### TARTIŞMA VE SONUÇ

#### 5.1. Yöntemin gerçek örnek uygulaması

Bu çalışma Kayseri ilinde Faaliyet gösteren parçaları çelik eşya ve diğer metal kaplama yapan fabrikadan alınan atıksu ile yine Kayseri ilinde faaliyet gösteren Soba Parçaları Otomotiv ve makina parçaları imalatı yapan döküm fabrikasından alınan taşlama tozuna Fenton prosesinin uygulanabilirliği ve Fenton prosesi sonucunda  $Cr^{6+}$ , renk ve KOİ giderimi incelenmiştir. Sentetik ve ham atık sulara uygulanan Fenton prosesi sonucu  $Cr^{6+}$  KOİ ve renk gideriminin elde edilmesi için sentetik suda pH, atık taşlama tozu,  $H_2O_2$ , reaksiyon süresi optimize edilerek ham atık suyun optimizasyonuna geçilmiştir. Ham atık suda ise öncelikle pH  $FeSO_4$   $H_2O_2$  miktarları belirlenip daha sonra ise pH, atık taşlama tozu,  $H_2O_2$  miktarları optimize edilmiştir.

İleri oksidasyon proseslerinden Fenton prosesi  $Fe^{2+}$  ve  $Fe^{3+}$  yada  $Fe^0$  halde katı halinin güçlü oksitleyicilerle hidrojen peroksit vb. ortamda yüksek miktarda hidroksil radikallerinin oluşması esasına dayanır. Fe kaynağının ve hidrojen peroksitin kararlılığı çok önemlidir bunun sağlanabilmesi için ortamın pH sı reaksiyonun en önemli noktasıdır. Genellikle Fe iyonlarının kararlı olabilmesi için asidik pH lar çok önemlidir. pH tamponu kullanılması reaksiyonun pH oynamalarına karşı direnç sağlamaktadır fakat maliyetler açısından HCl ve NaOH kullanımının da ucuz ve değerlerde değişiklik göstermeyeceği bilinmektedir.

#### 5.2. Bulguların Değerlendirilmesi

Yapılan bu deneysel çalışmanın ilk kısmında Laboratuvar şartlarında oluşturduğumuz 20 ppm  $Cr^{6+}$   $K_2Cr_2O_7$ ' den çözelti haline getirilip Fenton prosesine uygun pH 3,3.5,4 değerlerine 3M NaOH VE 1M HCl ile ayarlama yapıp Sentetik Suyun optimum reaksiyon süresini belirlemek için 15-75 dk arasında herbir numuneye 200mg/L  $Fe^{2+}$  100mg/L  $H_2O_2$  45 ve 60. dklarda reaksiyonun sona erdiği görülmüştür. Böylece  $Cr^{6+}$  giderimi için reaksiyon süresinin 45-60 dk'da %100 verim elde edilmesiyle literatürdeki 30-60 dk arasındaki Fenton reaksiyon süresi desteklenmiştir. Daha sonra uygun pH seçimi için pH 2,2.5,3,3.5ve 4 değerlerinde  $Cr^{6+}$  giderimi açısından pH 2 ve

pH 2.5 hariç diğler pH larda verim%100 'e yakın olmakla birlikte en iyi verim pH 3.5 te %100 verim ile pH değeri 3.5 olarak belirlenmiştir.

Uygun taşlama tozu miktarı seçimi için pH 3.5 değeri 100mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozu sabit tutularak 70mg/L -1000mg/L arasında taşlama tozu ilave edilmiştir. Cr<sup>6+</sup> giderimi için 300mg/L den sonra Cr<sup>6+</sup> giderimi %100 verim sağlayıp sabitlenmiştir.

Optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> belirlenmesi için pH 3.5 ve 200mg/L Fe<sup>2+</sup> dozu sabit tutularak 25mg/L -1000mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı taranmıştır. Genellikle %92 üzerinde arıtım sağlanmakla beraber %100 giderim 125mg/L de sağlanmıştır. Fakat maliyet açısından 25mg/L de ki Cr<sup>6+</sup> giderim verimi de %98.44 olduğu için 25mg/L değeri seçilmiştir.

Renk giderimi için ise 70mg/L-1000mg/L arasında yapılan Taşlama tozu miktarında ise renk giderimi birbirine yakın değerler olmakla birlikte 400mg/L değerinde bir düşüş yaşamıştır. 436nm 525nm ve 620 nm de yapılan ölçümlerin sonunda en iyi renk giderimi 700mg/L için %90.43 tür.

Renk giderimi için taşlama tozu ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarıyla pH taramasında pH 2 den 4 e kadar yapılan taramada en düşük renk giderimi pH 2 de %73.81 ile başlayıp sürekli artarak pH 3.5 te en iyi renk giderimi sağlayarak %89.39 dur.

Ham atık suyla yapılan (950 ppm atık su) ile öncelikli FeSO<sub>4</sub> ile atık suyun optimizasyonu sağlanmıştır. Daha sonra aynı atıksuya taşlama tozu ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile yeni bir optimizasyon yapılmıştır ve taşlama tozunun FeSO<sub>4</sub> karşısındaki durumu belirlenmiştir.

Öncelikle 950 ppm ham atıksuya 300mg/L Fe<sup>2+</sup> ve 200mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ilave edilip bu sabit değerlerde pH 2 den 4 e kadar tarama yapılmıştır. Tüm pH değerlerinde genellikle %98 in üzerinde bir Cr<sup>6+</sup> giderimi sağlanmıştır ve en yüksek Cr<sup>6+</sup> giderimi pH 3.5 te %99.92 olarak belirlenmiştir.

FeSO<sub>4</sub> ile yapılan aynı çalışmada ise renk giderimi için pH 2-4 arasında alınan sonuçlarda ise 436nm 525nm ve 620 nm den alınan ortalamalarda sadece pH 2.5 de giderim hiç sağlanamamıştır. En iyi renk giderimi ise pH 2 de %58.29 olarak giderim sağlanmıştır.

Optimum  $H_2O_2$  dozunun belirlenmesinde en uygun pH değeri 3.5 ve 300mg/L  $Fe^{2+}$  dozu sabit tutularak 25mg/L -1000mg/L arasında  $H_2O_2$  ilave edilmiştir. En iyi sonuç 25mg/L ve 75mg/L değerleri %99.92 olarak belirlenmiştir. ve maliyet açısından en uygun 25mg/L olarak seçilmiştir.

Optimum  $H_2O_2$  için yapılan aynı çalışmada renk giderimi için 436nm 525nm ve 620 nm de yapılan analiz sonucunda en iyi renk giderimleri 25mg/L ve 300mg/L de %54.68ve %55.31 sonuçları alınmıştır. ve 50mg/L ile 1000mg/L de ise renk giderimi sağlanamamıştır.

Uygun  $FeSO_4$  dozu için pH 3.5 ve  $H_2O_2$  25mg/L de sabit tutularak farklı  $FeSO_4$  dozları taranmıştır. 100mg/L ile 200mg/L hariç tüm değerlerde %93 ün üzerinde  $Cr^{6+}$  giderimi sağlanmıştır. Ve en iyi sonuç ise 300 mg/L de %100 olarak belirlenmiştir.

Uygun  $FeSO_4$  için yapılan aynı çalışmada renk giderimi için 436nm 525nm ve 620 nm de yapılan analiz sonucunda renk giderimi sadece 400mg/L ile 500mg/L de %47ve %5.74 olarak renk giderimi sağlanabilmiştir.

Optimum  $H_2O_2$  için yapılan taramada KOİ değerleri incelendiğinde ise en yüksek değer 25mg/L ve 900mg/L de%38.68 ve %35.65 KOİ giderimi sağlanmıştır. En düşük değer ise 500mg/L de %6.25 tir.

Uygun pH taraması için  $FeSO_4$  ile yapılan deneyde KOİ için değerler incelendiğinde ise pH 2 hariç diğerlerinde %20 nin üzerinde bir KOİ giderimi sağlanmıştır. pH 2 de %12,55 giderim sağlanmakla beraber en iyi KOİ giderimi pH 3 te %21.74 te sağlanmıştır.

Uygun  $FeSO_4$  miktarı taraması için KOİ değerleri 900mg/L ve 1000mg/L değerlerinde en yüksek %35.14 ve %30.86 dir en düşük değer ise 500mg/L de%16.75 tir.

Çalışmanın son bölümünde ise 950 ppm ham atık suya bu defa taşlama tozu ve  $H_2O_2$  ilaveleri yapılarak taşlama tozunun  $Cr^{6+}$ , KOİ ve renk giderimi üzerine etkileri incelenmiştir.

İlk önce taşlama tozu atık suyun pH seçimi için pH 2-4 arasında tarama yapılmıştır. Herbir numuneye 300mg/L  $Fe^{2+}$  ve 200mg/L  $H_2O_2$  ilave edilmiştir. pH değerlerinin

hepsinde  $Cr^{6+}$  giderimi için %99-%100 arasında verim alınmıştır. Bu yüzden pH' nın taşlama tozunda çokta önemli olmadığı görülmüştür.

Aynı taşlama tozu değerlerinde atık suyun pH 2-4 aralığında belirlenen renk giderimlerinde ise 436nm 525nm ve 620 nm de yapılan analiz sonucunda pH 2 de hiç renk giderilememiştir. pH 3ten sonra renk giderimi artış göstermekle beraber en iyi sonucu %73,19 ile pH 3.5 te vermiştir.

Uygun taşlama tozu miktarı için ise pH 3.5 değeri ve 200mg/L  $H_2O_2$  miktarı sabit tutulmuştur.100-1000mg/L arasında tarama yapılmış ve  $Cr^{6+}$  giderimi 500mg/L de %100 olarak sağlanmıştır.

Aynı taşlama tozu değerlerinde atık suyun pH 2-4 aralığında belirlenen renk giderimlerinde ise 436nm 525nm ve 620 nm de yapılan analiz sonucunda 400mg/Lve 700mg/L değerlerinde renk giderimi sağlanamamıştır. En iyi renk giderimi ise 900mg/L ve 1000mg/L de %74,89 ve %74.46 dir.

Uygun  $H_2O_2$  miktarı seçimi için ise pH 3.5 değeri ve 500mg/L taşlama tozu miktarı sabit tutulmuştur.100-1000mg/L arasında tarama yapılmış ve  $Cr^{6+}$  giderimi 200mg/L de %100 olarak sağlanmıştır. 100mg/L ve 500mg/L değerlerinde ise az miktar düşüşler yaşanmıştır.

$H_2O_2$  miktarı seçimi için Aynı değerlerde atık suyun renk giderimlerinde ise 436nm 525nm ve 620 nm de yapılan analiz sonucunda tüm değerlerde %60 ın üzerinde renk giderimi sağlamıştır. En yüksek renk giderimini ise %76.59 ile 300mg/L de bulunmuştur.

Taşlama tozu ve  $H_2O_2$  eklenerek yapılan pH taramasında pH 2-4 arasında yapılan taramada KOİ sonuçlarının incelenmesi için ölçümler alınmıştır. pH 2 ve 2,5'ta %12ve%13 KOİ giderimi sağlanırken pH 3,5 ve 4 de ise %29,59 en yüksek KOİ giderimi sağlanmıştır.

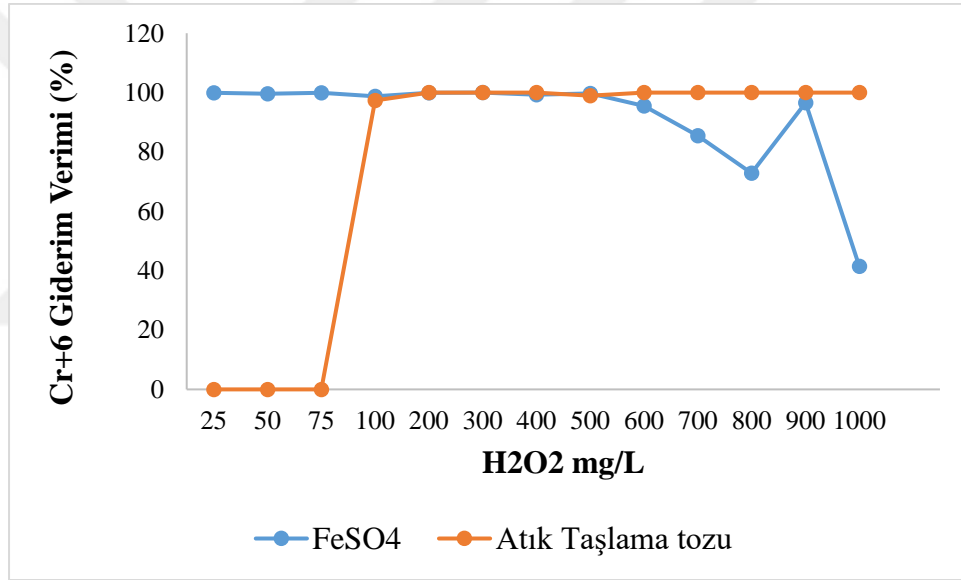
Daha sonra taşlama tozu taraması yapılırken pH 3,5 te sabit tutulmuştur ve aynı deneyde yapılan incelemede 100-1000mg/L taşlama tozu miktarına göre KOİ miktarı 300mg/L ve 1000mg/L de %12,52 ve %13,54 olarak düşüşü yaşamıştır. En iyi sonuç ise 500mg/L ve 600mg/L 'de %29.25 olarak belirlenmiştir.



En son olarakta pH 3,5 ve 500 mg/L  $Fe^{2+}$  sabit tutularak yapılan aynı deneyde ki incelemede  $H_2O_2$  miktarı 100 mg/L – 400mg/L arası bir çıkış 400 mg/L – 700mg/L arası tekrar bir iniş yaşanmıştır ve 700 mg/L den sonra değerler fazla oynamamakla beraber KOİ giderimi için en iyi sonuç 700mg/L ve 1000 mg/L de %34,22 ve %34,93 olarak bulunmuştur.

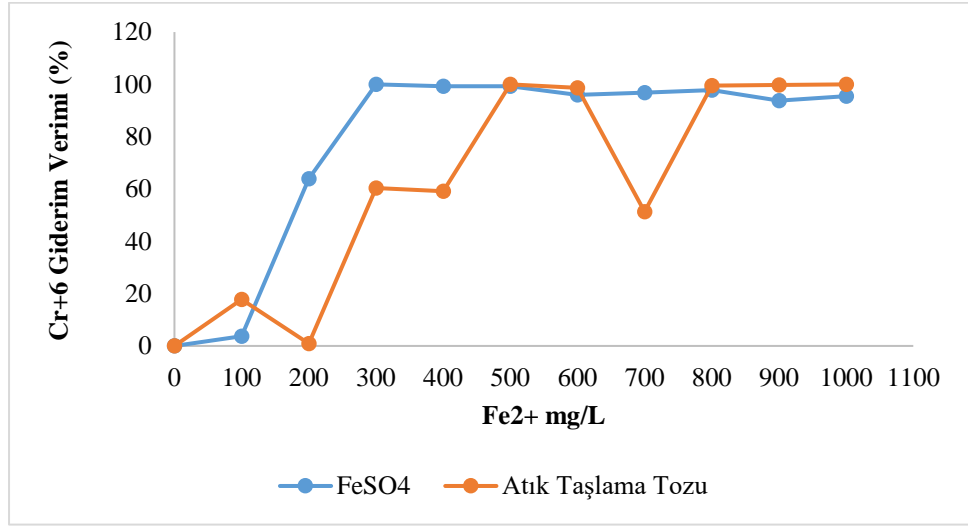
### 5. 3. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada alınan sonuçlar göz önüne alınırsa  $FeSO_4$  'ün aynı şartlar altındaki Atık Taşlama Tozuna karşı performansı bu atığın  $FeSO_4$  yerine kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.  $Cr^{6+}$  giderimi , KOİ, Renk giderimi açısından karşılaştırmalar şöyledir.



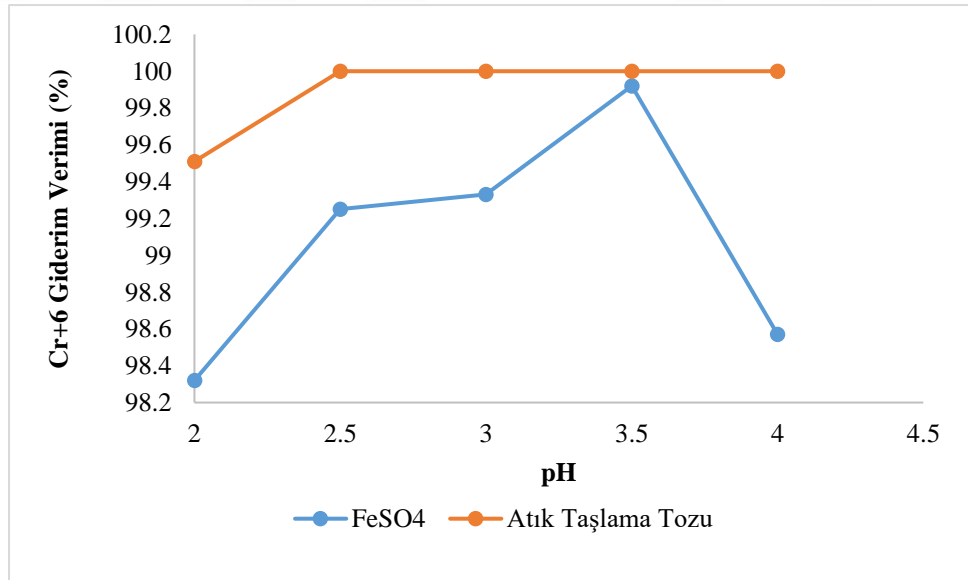
Şekil 5. 1.  $FeSO_4$  ve Taşlama tozu  $H_2O_2$  miktarı'nın  $Cr^{6+}$  giderimi karşılaştırılması

$Cr^{6+}$  giderimi için  $H_2O_2$  miktarı taramasında Taşlama tozu 75mg/L ye kadar  $Cr^{6+}$  giderimi sağlayamamıştır. Fakat 100mg/L den sonra %100  $Cr^{6+}$  giderimi sağlamıştır.  $FeSO_4$  ise 600-900mg/L arasında  $Cr^{6+}$  gideriminde %72'ye kadar düşüş yaşamıştır ve 1000mg/L de ise doyum yaşamış ve %41,52 ye kadar  $Cr^{6+}$  giderimi düşmüştür.



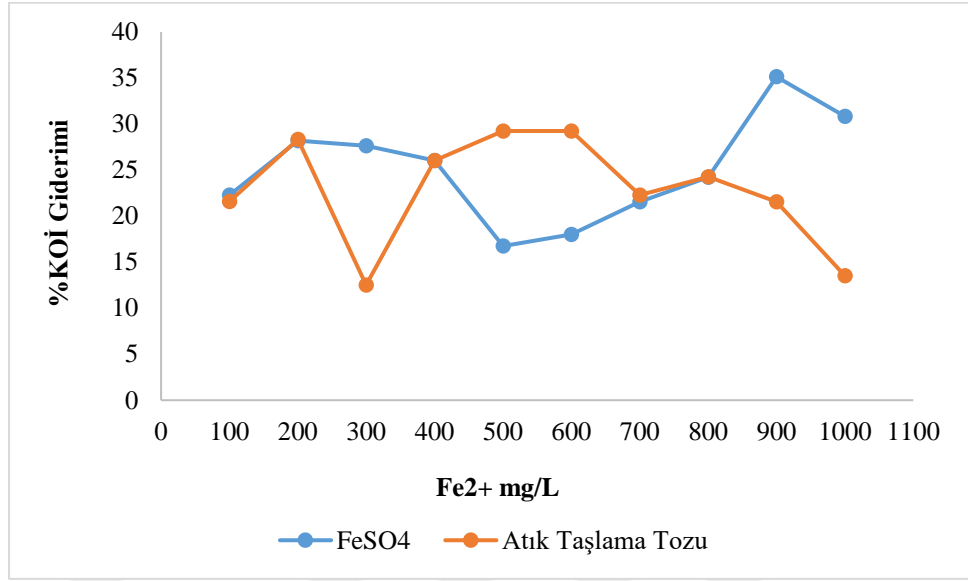
Şekil 5. 2. FeSO<sub>4</sub> ve Taşlama tozu Fe<sup>2+</sup> miktarı'nın Cr<sup>6+</sup> giderimi karşılaştırılması

Cr<sup>6+</sup> giderimi Fe<sup>2+</sup> miktarı taramasında Atık Taşlama Tozu 200mg/L ve 700mg/L değerinde düşüş yaşamıştır yapılan incelemede değerler %50 ile %99 arasında Cr<sup>6+</sup> giderimi sağlamıştır. FeSO<sub>4</sub> ise sürekli Cr<sup>6+</sup> giderimini 300mg/L den 1000mg/L 'ye kadar sağlamıştır.



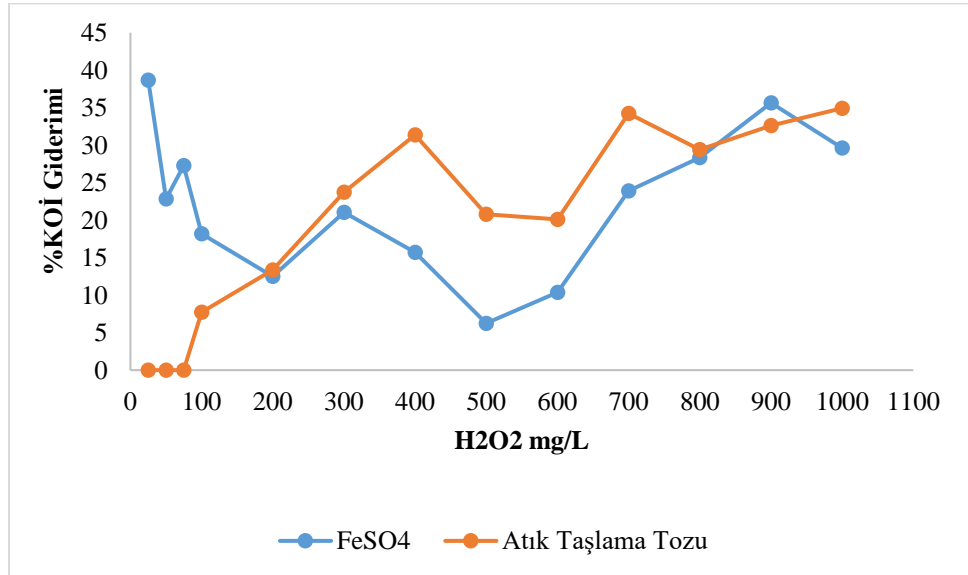
Şekil 5. 3. FeSO<sub>4</sub> ve Taşlama tozu pH değişimin'de Cr<sup>6+</sup> giderimi karşılaştırılması

Cr<sup>6+</sup> giderimi pH taramasında Atık Taşlama tozu ve FeSO<sub>4</sub> için %98-%99 arasında Cr<sup>6+</sup> giderimi sağlayarak pH iki malzeme içinde pek değişkenlik göstermemiştir.



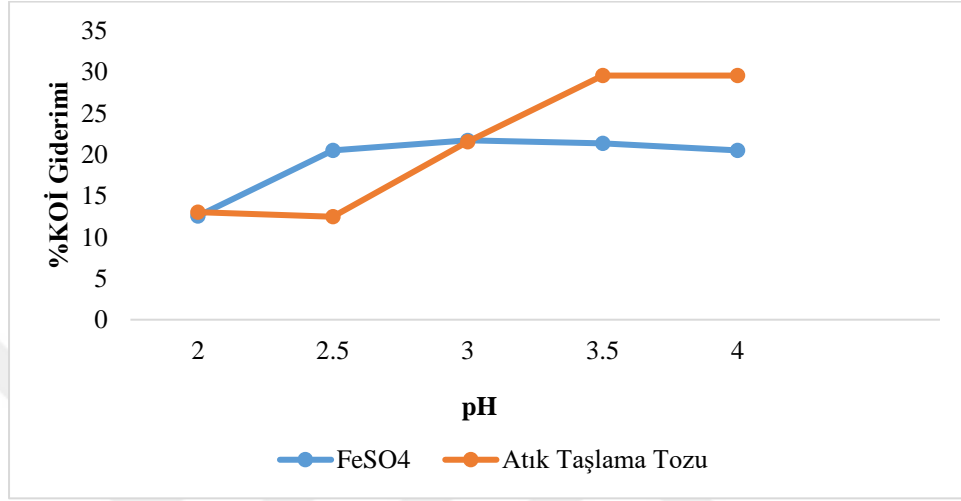
Şekil 5. 4. FeSO<sub>4</sub> ve Taşlama tozu Fe<sup>2+</sup>miktarı'nın KOİ giderimi için karşılaştırılması

KOİ giderimi Fe<sup>2+</sup> miktarı taramasında Atık Taşlama Tozu ve FeSO<sub>4</sub> genel anlamda %12-%35 arasında giderim sağlamakla beraber FeSO<sub>4</sub> 'ün Atık Taşlama Tozuna karşılık 300mg/L ve 1000mg/L değerlerinde yarıyarıya farkla giderim sağlamıştır. Diğer tüm değerlerde birbirine çok yakın sonuçlar sergiler.



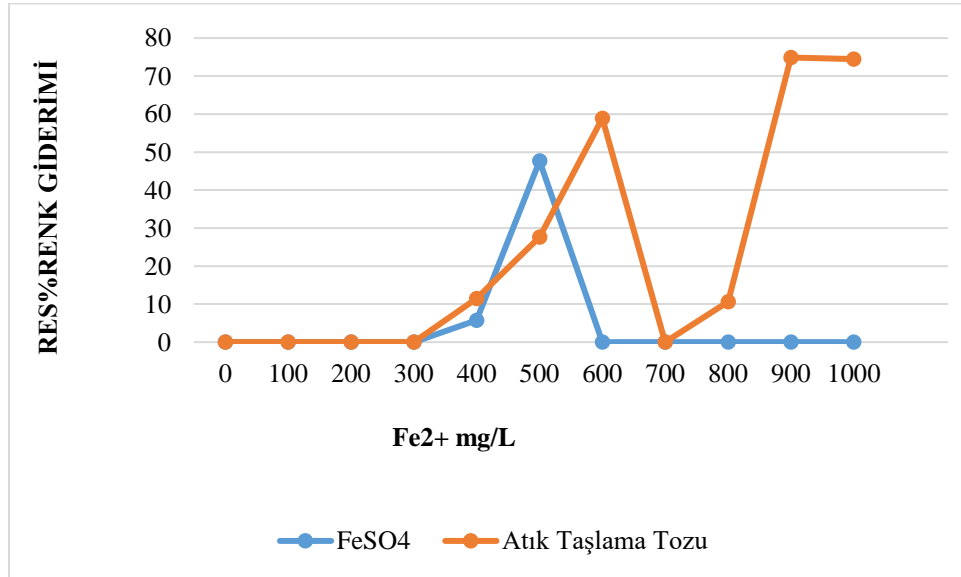
Şekil 5.5. FeSO<sub>4</sub> ve Taşlama tozu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı'nın KOİ giderimi için karşılaştırılması

KOİ giderimi için  $H_2O_2$  miktarı taramasında ise  $FeSO_4$  ün 25mg/L den 1000mg/L 'ye kadar sadece 500mg/L de düşüş yaşamıştır.ve KOİ giderimi bakımından Atık Taşlama Tozuna 200mg/L ye kadar üstünlük sağlamıştır. 200mg/L den sonra birbirine yakın değerler sergileyip KOİ Giderimi bakımından alternatif olabileceğini göstermiştir.



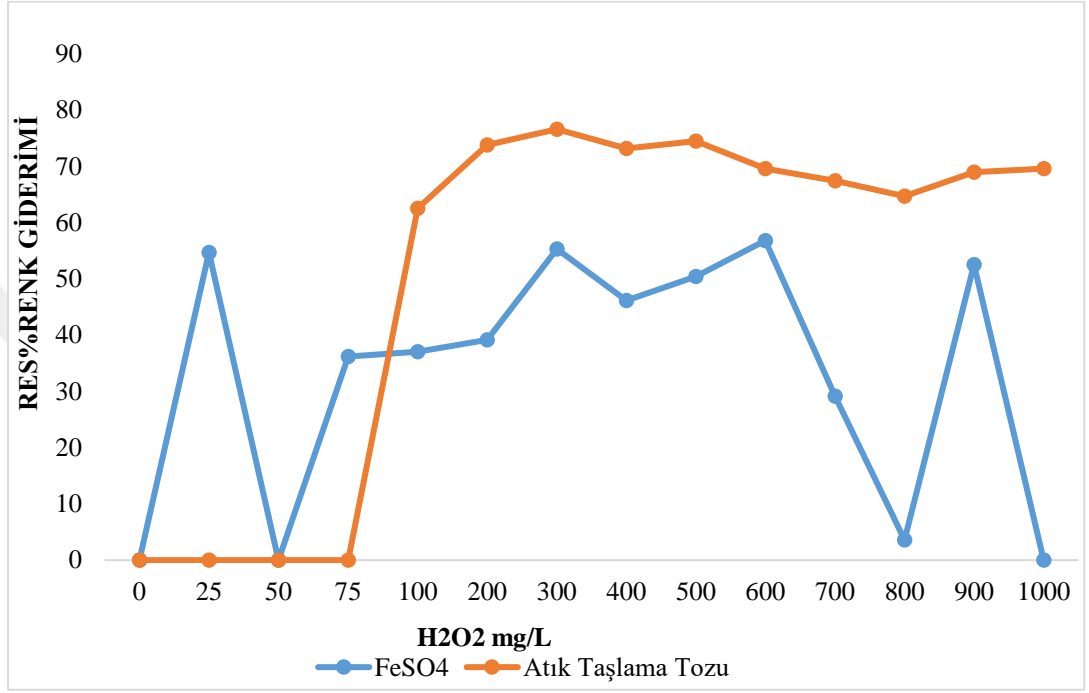
Şekil 5. 6.  $FeSO_4$  ve Taşlama tozu pH değişimin’de KOİ giderimi için karşılaştırılması

KOİ giderimi için pH değerlerinde pek bir fark bulunmamakla beraber  $FeSO_4$  ve Atık Taşlama Tozu birbirine alternatif olabileceğini göstermektedir.



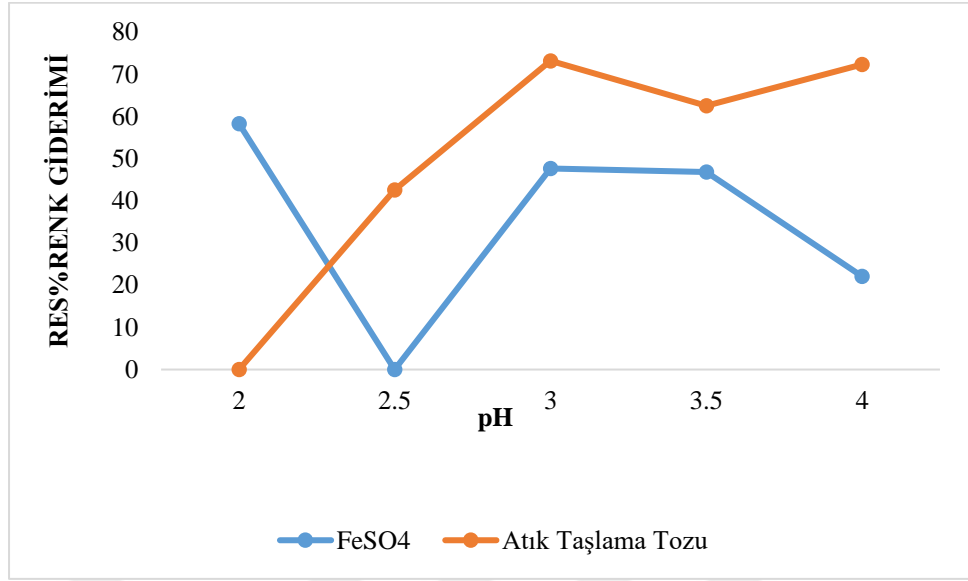
Şekil 5.7.  $FeSO_4$  ve Taşlama tozu  $Fe^{2+}$  miktarı’nın Renk giderimi için karşılaştırılması

Renk Giderimi bakımından  $Fe^{2+}$  miktarı taramasında Atık Taşlama tozu ile  $FeSO_4$  500mg/L ye kadar birbirine yakın değerler gözlenmiştir. Fakat 600mg/L den sonra 1000mg/L ye kadar  $FeSO_4$  renk giderimi sağlayamamıştır atık taşlama tozu ise bu değerlerde bir renk giderim üstünlüğü sağlamıştır.



Şekil 5.8.  $FeSO_4$  ve Taşlama tozu  $H_2O_2$  miktarı'nın Renk giderimi için karşılaştırılması

Renk Giderimi bakımından  $H_2O_2$  miktarı taramasında Taşlama tozu 100mg/L ye kadar hiç renk giderimi sağlayamamıştır. Fakat daha sonra 100mg/l- 1000mg/L arasında ise sürekli  $FeSO_4$  'e renk giderimi bakımından üstünlük sağlamıştır.



Şekil 5. 9. FeSO<sub>4</sub> ve Taşlama tozu pH değişimin’de Renk giderimi için karşılaştırılması

Renk Giderimi bakımından pH lar arasında çok yüksek farklar olmayışıyla beraber taşlama tozu tüm pH larda renk giderimi bakımından genelde üstünlük sağlamıştır. Bu çalışmada yapılan tüm karşılaştırmalar sonucunda Atık taşlama tozunun FeSO<sub>4</sub> ‘e kıyasla renk giderimi, KOİ giderimi ve Cr<sup>6+</sup> giderimi açısından çok yakın değerler ve bazı durumlarda da sağladığı üstünlüklerle alternatif bir madde olarak kullanılabilceği düşünülmektedir. Hem atık malzemelerin 2.ürüne dönüştürülmesi hemde atık bertarafının sağlanması bakımından örnek bir çalışma olmaktadır. Maliyet bakımından ise demir miktarının ücretsiz karşılanması nedeniyle giderlerin düşeceği ekonomik bir yöntem olma özelliği taşımaktadır. Fakat atığın kullanılabilmesi için tane boyutunun eşitlenmesi daha iyi sonuçlar verecektir. Giderim açısından fenton yönteminin her bir giderim parametresinin belirlenmesi için ayrı dozajlama yapılması gerekmektedir. Renk giderimi KOİ ve Cr<sup>6+</sup> giderimi aynı dozajlamalarda aynı sonuçları vermemektedir. Buda sistemin giderim sağlamak istediğiniz parametresine göre Renk giderimi KOİ ve Cr<sup>6+</sup> giderimi her 3 ünü de tek bir sistemde gidermek istenirse kademeli dozajlama yapılması gerektiği için maliyet açısından farklı maliyetler çıkarabilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Arjunan, B., Karuppan, M., “A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 1, 2014.
2. Garg, A., Mishra, I. M., Chand, S., “Oxidative phenol degradation using non-noble metalbased catalysts”, *Clean*, 38, 27-34, 2010.
3. Bernal-Martinez, L. A., Barrera-Diaz, C., Solis-Morelos, C., Reyna, N., “Synergy of electrochemical and ozonation processes in industrial wastewater treatment”, *Chemical Engineering Journal*, 165, 71–77, 2010.
4. Cybulski, A., “Catalytic wet air oxidation: are monolithic catalyst and reactors feasible”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46, 4007-4033, 2007.
5. Kritzer, P., Dinjus, E., “An assessment of supercritical water oxidation (SCWO): existing problems, possible solutions and new reactor concepts”, *Chemical Engineering Journal*, 83, 207-214, 2001.
6. Kolaczowski, S. T., Plucinski, P., Beltran, F. J., Rivas, F. J., McLurgh, D. B., “Wet air oxidation: a review of process technologies and aspects in reactor design”, *Chemical Engineering Journal*, 73, 143-160, 1999.
7. Levec, J., Pintar, A., “Catalytic wet air oxidation processes. A review”, *Catalysis Today*, 124, 172-184, 2007.
8. Malato, S., Blanco, J., Vidal, A., Richter, C., “Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 37, 1-15, 2002.
9. Glaze, W. H., Kang, J. W., Chapin, D. H., “The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation”, *Ozone: Science & Engineering*, 9, 335–352, 1987.
10. Hoigne, J., “Inter-calibration of OH radical sources and water quality parameters”, *Water Science & Technology*, 35, 1-8, 1997.
11. Klavarioti, M., Mantzavinos, D., Kassinos, D., “Removal of residual pharmaceutical from aqueous systems by advanced oxidation processes”, *Environment International*, 35, 402–417, 2009.
12. Ham, R. K., Boyle, W. C., Fero, R. L., “Evaluation of organic compounds in groundwater at ferrous foundry waste landfills”, *American Foundrymen's Society*, 5, 20-35, 1987.

13. Gönüllü, M. T., “Döküm Kumu Rejenerasyonu Değerlendirmesi”, 2. *Uluslararası Döküm ve Çevre Sempozyumu ve Sergisi*, s. 24-26, İstanbul, 2007.
14. Degarmo, E., Black, J. T., Kohser, P., Ronald, A., “Materials and Processes in Manufacturing”, *Wiley*, 8, 227, 2003.
15. Sinha, K. P., Goel, D. B., “Foundry Technology, 2nd ed.”, Nai Sarak, *Standard Publishers Distributors*, s. 254, Delhi, 2002.
16. Murphy, A. J., “Non-Ferrous foundry metallurgy: The Science of Melting and Casting Non-Ferrous Metals and Alloys”, *Literary Licensing*, 22, 32-45, 2013.
17. Campbell, J., “Castings, 2nd ed.”, Butterworth-Heinemann, *Professor of Casting Technology*, s. 98-100, Birmingham, 2003.
18. James, M. T., “Foundry Practice: A Treatise on Molding and Casting in Their Various Details, 2nd ed.”, *Forgotten Books*, s. 485, London, 2012.
19. Dungan, S. R., Kukier, U., Lee, B., “Blending Foundry Sands with Soil: Effect on Dehydrogenase Activity”, *Science of the Total Environment*, 357 (1-3), 221-230, 2006.
20. SGEM, 9th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM Conference Proceedings, Vol.2, 2009.
21. Yung-Tse, H., Lawrence, K., Wang, N., Shammass, K., “Handbook of Environment and Waste Management: Land and Groundwater Pollution Control”, *World Scientific*, 6, 201-251, 2013.
22. Yuan, C., Jones, S., “Investigation of fibre modified ceramic moulds for investment casting”, *Journal of the European Ceramic Society*, 12, 65-72, 2003.
23. Partridge, B. K., Fox, P. J., Alleman, J. E., Mast, D. G., “Field Demonstration of Highway Embankment Construction Using Waste Foundry Sand”, *Journal of the Transportation Research Board*, 23, 256, 1999.
24. Nelson, L., Nemerow, S., Hoboken, N. J., “Environmental engineering. Environmental health and safety for municipal infrastructure, land use and planning, and industry”, *Wiley*, 65, 320, 2009.
25. Braham, A., “The Use of Blended Recycled Foundry Sand in Hot Mix Asphalt, 3<sup>rd</sup> ed.”, *Interim Report, University of Wisconsin*, s. 502, US, 2002.
26. Campbell, J., “Complete casting handbook chapter 4- moulds and cores, 2nd ed.”, *Elsevier Ltd.*, s. 687, Birmingham, 2015.



27. Coz, A., Andrés, S., Soriano, A., “Irabien Environmental behavior of stabilized foundry sludge”, *J. Hazard Mater*, 3, 109, 2004.
28. AMT (Advanced Melting Technologies): ‘November 2005 Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry BCS’, Incorporated Columbia, 2005.
29. Sutradhar, G., “Principles of Foundry Process Design”, *New Age International Publishers*, 12, 124-133, 2010.
30. Yerlikaya, C., “Dökümhane atık kumlarındaki inorganik ve organik kirleticilerin karakterizasyonu” *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 56-62, İstanbul, 2001.
31. HAWAMAN, “Türkiye’de Sanayiden Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Yönetiminin İyileştirilmesi”, Döküm Sektörü Rehber Döküman, LIFE HAWAMAN Projesi, Ankara, 2009.
32. Andrew, W., “Handbook of chemical vapor deposition (CVD): principles, technology, and applications, 2nd ed.”, Hugh O. Pierson, *Hardcover ISBN*, s. 506, U.S., 2011.
33. Kaur, I., “Mechanical Properties of Concrete Incorporating Used Foundry Sand”, *Deemed University, Thapar Institute of Engg&Tech., Yüksek Lisans Tezi*, s. 47-53, Patiala, 2006.
34. HAWAMAN, “Türkiye’de Sanayiden Kaynaklanan Tehlikeli Atıkların Yönetiminin İyileştirilmesi”, Döküm Sektörü Rehber Döküman, LIFE HAWAMAN Projesi, Ankara, 2009.
35. Çevre ve Orman Bakanlığı, “Tehlikeli Atıkların Sınıflandırılması Kılavuzu”, LIFE HAWAMAN Projesi, Ankara, 2009.
36. Shigen, Z., “A review on resin coated sand for shell moulding”, *Special Casting & Nonferrous Alloys*, 32, 106, 1999.
37. Siddique, R., Aggarwal, Y., Aggarwal, P., Kadri, E. H., Bennacer, R., “Strength, Durability and Microstructural Properties of Concrete Made With Used-Foundry Sand (UFS)”, *Construction and Building Materials*, 26,321-342, 2011.
38. Wojtynek, L., “Process management in foundries”, *Archives of Foundry Engineering, Foundry Commission of the Polish Academy of Sciences*, 48, 421, 2009.

39. Ham, R. K., Boyle, W. C., Blaha, F. J., "Comparison of Leachate Quality in Foundry Waste Landfills to Leach Test Abstracts", *Journal of Hazardous and Industrial Solid Waste Testing Disposal*, 53, 214-235, 1990.
40. Khatib, J. M., Ellis, D. J., "Mechanical Properties of Concrete Containing Foundry Sand", *ACI Special Publication*, 200, 733-748, 2001.
41. Seung-Whee, R., Woo-Keun, L., "Characteristics of Spent Foundry Sand-Loess", *American Journal of Applied Sciences*, 21, 712-730, 2006.
42. Rao, P., "Manufacturing Technology: Foundry, Forming and Welding, 3rd ed.", *Mc Graw Hill*, s. 712, New York, 2008.
43. Dayton, E. A., Whitacre, S. D., Dundan, R. S., Basta, N. T., "Characterization of Physical and Chemical Properties of Spent Foundry Sands Pertinent to Beneficial Use in Manufactured Soils", *Plant Soil*, 58, 638-640, 2010.
44. AFS, "Foundry Sand Facts for Civil Engineers", Prepared by AFS for Federal Highway Administration, US, Sf. 80, 2004.
45. Lawrence, D., Mavroulidou, M., "Properties of Concrete Containing Foundry Sand", *Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology*, s. 3-5, Greece, 2009.
46. Rastovcan-Mioc, T., Sofilic, B., Mioc, "Study of Potential Electric Arc Furnace Slag Application, 7th ed.", Unkić, F., *Faculty of Metallurgy*, s. 897, Opatija, 2006.
47. Yu, W., He, H., Cheng, N., Gan, B., Li, X., "Preparation and experiments for a novel kind of foundry core binder made from modified potato starch", *Materials and Design*, 30 (1), 210-213, 2009.
48. Etxeberria, M., Pacheco, C., Meneses, J. M., Berridi, I., "Properties of Concrete Using Metallurgical Industrial By-products as Aggregates", *Construction and Building Materials*, 24, 1594-1600, 2010.
49. Tikalsky, P. J., Smith, E., Regan, R., "Proportioning Spent Casting Sand in Controlled Low Strength Materials", *ACI Materials J.*, 95 (6), 740-746, 1998.
50. EWC. European Waste Catalogue Draft. 1999/689/Ec. Off J Eur Communities 7.1.94 and 1.1.02
51. Deng, A., "Contaminants in waste foundry sands and its leachate", *International Journal Environment and Pollution*, 38 (4), 478-480, 2009.

52. Lindsay, B. J., Logan, T. J., "Agricultural Reuse of Foundry Sand", *Journal of Residuals Science & Technology*, 183 (1-4), 213-223, 2005.
53. Lawrence, K., Wang, N., Shammas, K., Yung-Tse H., "Waste Treatment in the Metal Manufacturing, Forming, Coating, and Finishing Industries", *CRC Press*, 5, 36-40, 2008.
54. NASA. "Refractory materials for flame deflector protection system corrosion control: similar industries and/or launch facilities survey". NASA, 2009
55. Fang, H., Smith, J. D., Peaslee, K. D., "Study of spent refractory waste recycling from metal manufacturers", *Resources Conservation and Recycling*, 25 (2), 11-124, 1999.
56. Stimpson, W., C., "Foundry Work: A Practical Handbook on Standard Foundry Practice, Including Hand and Machine Molding; Cast Iron, Malleable Iron, Steel, and Brass Castings; Foundry Management; Etc.", *Nabu Press*, 3, 68-72, 2011.
57. Fenton, H. J. H., "Oxidation of tartaric acid in the presence of iron", *Journal of the Chemical Society, Transactions*, 65, 899-910, 1894.
58. Buxton, G. V., Greenstock, C. L., Helman, W. P., Ross, A. B., "Critical Review of the rate constants for reactions of hydrated electrons, hydrogen atoms and hydroxyl radicals (radical dotOH/radical dotO-) in aqueous solution", *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 17, 513-886, 1988.
59. Neyens, E., Baeyens, J., "A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique", *J. of Hazardous Materials*, 98, 33-50, 2003.
60. Bautista, P., Mohedano, A. F., Casas, J. A., Zazo, J. A., Rodriguez, J. J., "An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment", *J. of Chemical Technology and Biotechnology*, 83, 1323-1338, 2008.
61. Sychev, A. Y., Isak, V. G., "Iron compounds and the mechanism of the homogeneous catalysis of the activation of O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and of the oxidation of organic substrates", *Russian Chemical Reviews*, 64, 1105-1129, 1995.
62. Nourbakhsh, M., Kutsal, T., "Serbest ve Tutuklanmış *S. cerevisiae*'te Bakır, Krom ve Kükürün Adsorpsiyonu", *Kimya ve Kimya Mühendisliği Sempozyumu*, s. 283-287, İstanbul, 1992.
63. Kusic, H., Bozic, A. L., Koprivanac, N., "Fenton type processes for minimization of organic content in coloured wastewaters: Part I: Processes optimization", *Dyes and Pigments*, 1-8, 2006.

64. Bali, U., Çatalkaya, E., Şengül, F., "Direkt yellow 12 ve direkt yellow 28 tekstil boyar maddelerinin ileri oksidasyon yöntemleri ile arıtımı", *I. Ulusal Çevre Kongresi*, s. 207-216, İzmir, 2004,
65. Kang, S. F., Liao, C. H., Chen, M. C. "Preoxidation and coagulation of textile wastewater by the Fenton process", *Chemosphere*, 46, 923-928, 2002.
66. Azbar, N., Yonar, T., Kestioglu, K., "Comparison of various advanced processes and chemical treatment methods for COD and colour removal from a polyester and acetate fiber dyeing effluent", *Chemosphere*, 55, 3543, 2004.
67. Chamarro, E., Marco, A., Esplugas, S., "Use of Fenton Reagent to Improve Organic Chemical Biodegradability", *Wat.Res.*, 35 (4), 1047-1051, 2001.
68. Alaton, İ. A., "Degradation of a commercial textile biocide with advanced oxidation processes and ozone", *Journal of Environmental Management*, 82, 145-154, 2007.
69. Dutta, K., Mikhopadhyay, S., Bhattacharjee, S., Chaudhuri, B., "Chemical Oxidation of Methylene blue Using a Fenton-like Reaction", *Journal of Hazardous Materials*, 84, 57-71, 2001.
70. Yerlikaya, C., "Dökümhane atık sularındaki inorganik ve organik kirleticilerin karakterizasyonu", *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 45-48, İstanbul, 2001.
71. Etxeberria, M., Pacheco, C., Meneses, J. M., Berridi, I., "Properties of Concrete Using Metallurgical Industrial By-products as Aggregates", *Construction and Building Materials*, 24, 1594-1600, 2010.
72. Gündüz, E., "Metal Kaplama Endüstrisi Atık sularının Fenton ile Arıtımı", *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 75, Konya, 2007.
73. Kang, S., Chang, H., "Coagulation of textile secondary effluents with Fenton's reagent", *Water science and technology*, 36 (12), 215-222, 1997.
74. Chen, S., Hsu, B., Hung, L., "Chromate reduction by waste iron from electroplating wastewater using plug flow reactor", *Model Hazmat*, 6, 33-71, 2007.
75. Sheu, S. H., Weng, H. S., "Treatment of Olefin Plant Spent Caustic by Combination of Neutraization and Fenton Reaction", *Wat. Res.*, 35 (8), 2017-2021, 2001.

76. Huang, Y. H., Chen, C. C., Huang, G. H., Chou, S. S., “Comparison of a Novel Electro-Fenton Method with Fenton’s Reagent in Treating a Highly Contaminated Wastewater”, *Wat. Sci. Tech.* 43 (2), 17-24, 2001.
77. Sychev, A. Y., Isak, V. G., “Iron compounds and the mechanism of the homogeneous catalysis of the activation of O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and of the oxidation of organic substrates”, *Russian Chemical Reviews*, 64, 1105–1129, 1995.
78. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2009, Metal Kaplama ve Galvanizasyon, Rehber Doküman, Life Hawaman Projesi.
79. Gündüz, E., Varınca, K. B., “Organize Sanayi Bölgelerinde Katı Atık Yönetimi ve Tuzla Mermerciler OSB Örneği”, *AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu*, s. 9, İstanbul, 2007.
80. Kara, G., “Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Fenton ile Arıtımı, *Selçuklu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 65-70, Konya, 2003.
81. Gönüllü, M. T., “Döküm Kumu Rejenerasyonu Değerlendirmesi”, *2. Uluslararası Döküm ve Çevre Sempozyumu ve Sergisi*, si 24-26, İstanbul, 2007.
82. Partridge, B. K., Fox, P. J., Alleman, J. E., Mast, D. G., “Field Demonstration of Highway Embankment Construction Using Waste Foundry Sand”, *Journal of the Transportation Research Board*, 68, 358-362, 1999.
83. Aydın, A. F., “Afyon Alkaloidleri Endüstrisi Atıksularının Biyolojik Prosesler ve Fenton Oksidasyonu ile İleri Arıtımı”, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 45-47, İstanbul, 2002.
84. Gao, P., Xueming, C., Shen, F., Chen, G., “Removal of chromium(VI) from wastewater by combined electrocoagulation electroflotation without a filter”, *Separation and Purification Technology*, 43, 117–123, 2004.
85. Huang, Y. H., Chou, S., Perng, M. G., Huang, G. H., Cheng, S. S., “Case Study on the Bioeffluent of Petrochemical Wastewater by Electro-Fenton Method”, *Wat.Sci. Tech.*, 39 (10-11), 145-149, 1999.
86. Nielsen, A. H., Lens, P., “Sulfide–iron interactions in domestic wastewater from a gravity sewer”, *Water Research*, 39 (12), 2747-2755, 2005.

## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Yemen 1988 yılında Kayseri’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kayseride tamamladı. 2008 yılında kazandığı Mustafa Kemal Üniversitesi Metalurji ve Malzeme bölümünü tamamladı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden 2014 yılında mezun oldu. 2015 senesinde kazandığı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

Adres: Organize Sanayi Bölgesi 21. Cadde No: Melikgazi /Kayseri

Telefon: 0507 529 93 85

e-posta : [yemenmustafa@gmail.com](mailto:yemenmustafa@gmail.com)

### Yayınlar

1. Cüce, H., Yemen, M., “Evaluation of environmental impact and opportunities beneficial use of foundry waste” 1st International conference on material science and technology in Cappadocia Congress (IMSTEC 2016) Hacı Bektaş Veli University, April 6-8, 2016, NEVŞEHİR / TURKEY, p 95, Paper ID:284.
2. Cüce, H., Yemen, M “The use of industrial wastes in heavy metal contaminated waste water treatment the case of foundry wastes ”, 2st International conference on material science and technology in Cappadocia Congress (IMSTEC 2017) Hacı Bektaş Veli University, October 11-13, 2017, NEVŞEHİR / TURKEY, p 205, Paper ID:389.