



**ÇAM KOZALAGINDAN ELDE EDİLEN DOĞAL
KOAGULANT KULLANILARAK ENDÜSTRİYEL
ATIKSULARIN ARTILMASI**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ**

Hamza A.A. RAMADAN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Sakine UĞURLU KARAAĞAÇ
Dr. Öğr. Üyesi Mohammed Shadi S. A.
ABUJAZAR**

**ÇAM KOZALAĞINDAN ELDE EDİLEN DOĞAL KOAGULANT
KULLANILARAK ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN ARITILMASI**

Hamza A.A. RAMADAN

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ

Dr. Öğr. Üyesi Mohammed Shadi S. A. ABUJAZAR

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

Karabük

Ocak 2023

Hamza A. A. RAMADAN tarafından hazırlanan “ÇAM KOZALAĞINDAN ELDE EDİLEN DOĞAL KOAGULANT KULLANILARAK ENDÜSTRİYEL ATIK SULARIN ARITILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ
Tez Danışmanı, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Mohammedshadi S. ABUJAZAR
Tez 2. Danışman Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/01/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Prof. Dr. Savaş CANBULAT (KÜ)

Üye : Doç. Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Rahman ÇALHAN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Enes ÖZKÖK (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mohammedshadi S. ABUJAZAR (El-AKSA).....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tez kapsamındaki tüm bilgilerin akademik düzenlemelere ve etik ilkelere uygun olarak derlenip sunulduğunu ve bu eserden kaynaklanmayan tüm bilgileri de bu yönetmelik ve ilkelerin gereklerine uygun olarak gösterdiğimi beyan ederim”.

Hamza A.A. RAMADAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇAM KOZALAĞINDAN ELDE EDİLEN DOĞAL KOAGULANT KULLANILARAK ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN ARTILMASI

Hamza A. A. RAMADAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Sakine UĞURLU KARAAĞAÇ

Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Shadi S. ABUJAZAR

Ocak 2023, 60 sayfa

Bu çalışmada Demir-Çelik Fabrikası atık sularının arıtılmasında bitki bazlı doğal pıhtılaştırıcı olarak çam kozalağı tozunun kullanımı incelenmiştir. Atık sudaki KOİ, toplam askıda katı madde (TKM), amonyak-azot (NH₃-N), mangan (Mn), demir (Fe), çinko (Zn), alüminyum (Al) ve nikel (Ni) konsantrasyonları araştırılmıştır. Demir ve çelik endüstriyel atık suyu, pH ve çam kozalağı tozu dozunun pıhtılaşma etkinliğindeki etkisiyle ilgili pıhtılaşma çalışmaları yapmak için bir Orbital çalkalayıcı ve bir flokülasyon cihazı kullanılmıştır. Çam kozalağı tozu ile maksimum Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Toplam Askıda Katı Madde (TKM), Amonyum Azotu (NH₃-N), mangan (Mn), demir (Fe), çinko (Zn), alüminyum (Al) ve nikel (Ni) uzaklaştırma yüzdeleri, 3 g / L dozunda çam kozalağı tozu kullanılarak doğal pH 8'deki atık su için sırasıyla % 83.33, % 99.00, %83.89, % 86.76, % 93.96, % 89.71, % 73.68 ve % 86.67 olarak tespit edilmiştir. FTIR araştırması, pıhtılaşma sürecine dahil olan çeşitli

fonksiyonel grupların varlığını göstermiştir. am kozalağı tozunun atıksu arıtımı için doğal bir pıhtılaştırıcı olarak önerilebileceği ve demir ve elik tesislerinden gelen atık suyun arıtılmasında pıhtılaştırıcı olarak kullanılabilceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal pıhtılaştırıcı, am kozalağı tozu, endüstriyel atık su, atık suların arıtılması.

Bilim Kodu : 90319

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER USING NATURAL COAGULANT OBTAINED FROM PINECONE

Hamza A. A. RAMADAN

Karabuk University

Institute of Graduate Programs

Department of Environmental Engineering

Thesis Advisor

Assoc. Prof. Sakine UĞURLU KARAAĞAÇ

Assist. Prof. Dr. Muhammed Shadi S. ABUJAZAR

Ocak 2023, 60 pages

Utilization of pinecone powder as plant-based natural coagulant in the treatment of iron and steel factory effluent was examined. The concentrations of COD, total suspended solids (TSS), ammonia-nitrogen (NH₃-N), manganese (Mn), iron (Fe), zinc (Zn), aluminum (Al), and nickel (Ni) in effluent wastewater were investigated. An Orbital shaker and a flocculation device were used to conduct coagulation studies on the effects of iron and steel industrial effluent, pH, and pinecone powder dose on coagulation efficacy. The maximal COD, TSS, NH₃-N, Mn, Fe, Zn, Al, and Ni removal percentages by pinecone powder were 83.33%, 99.00%, 83.89%, 86.76%, 93.96%, 89.71%, 73.68%, and 86.67% for effluent at natural pH 8 using 3 g/1000 L dose, respectively. The FTIR research shown the existence of various functional groups involved in the coagulation process. One may argue that pinecone powder has

enormous promise as a natural coagulant for water treatment and that it could be utilized to treat effluent from iron and steel plants.

Keywords : Natural coagulant, pine cone powder, industrial wastewater, treatment of wastewater.

Science Code : 90319

TEŞEKKÜR

Bu alıőmayı KBÜBAP-22-YL-033-No'lu Proje ile maddi olarak destekleyen Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim.

Danıőmanım Doç Dr. Sakine UGURLU KARAAĞAÇ'a bu tezin tamamlanmasında iyi niyetli yol gostericiliği ve yonlendirici tavrı için çok teşekkür ederim. İkinci danıőmanım Dr. Mohammed Shadi S. A. ABUJAZAR'a da katkıları için minnettarım. Bu tez çalıőmasının oluőmasında, desteğini esirgemeyen, engin bilgilerinden istifade ettiğim Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi evre Mühendisliği Bölümünde ders aldığım akademisyenlere de ayrıca teşekkür ederim.

Eğitim yaőamım boyunca desteklerini benden esirgemeyen, beni takdir ve teővik eden aileme derinden minnettar olduğumu ifade etmek isterim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISITLAMALAR LİSTESİ.....	xiii
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1. TEZİN YAPISI.....	2
BÖLÜM 2.....	5
ENDÜSTRİYEL ATIK SU KİRLİLİĞİ.....	5
2.1. ENDÜSTRİYEL ATIK SULARDA KİRLENME TÜRLERİ.....	9
2.1.1. Organik Kirlenme.....	9
2.1.2. İnorganik Kirlenme.....	12
2.2. ATIK SU ARITMA TEKNOLOJİSİ.....	13
2.2.1. Biyolojik Yöntemler.....	13
2.2.2. Fiziksel Yöntemler.....	14
2.2.3. Kimyasal Yöntemler.....	15
2.3. ATIK SULARIN ARITIMINDA DOĞAL PIHTILAŞTIRICILARIN KULLANIMI.....	18
2.3.1. Bitki Bazlı Pıhtılaştırıcılar (PBC).....	19
2.3.2. Pıhtılaştırıcı Olarak Çam Kozalağı Tozu.....	20
BÖLÜM 3.....	21
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
3.1. MATERYAL VE METOT.....	21

	<u>Sayfa</u>
3.1.1. Pıhtılaştırıcı (Koagulant) Hazırlama.....	21
3.1.2. Atık Su Örneklerinin Alınması.....	22
3.2. YÖNTEM.....	22
3.2.1. Analitik Analiz.....	22
3.2.2. Pıhtılaştırma Deneyleri	23
3.2.3. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini	25
3.2.4. Amonyak-Azotu Giderimi	26
3.2.5. Toplam Askıda Kati Madde (Tkm) Giderimi.....	27
3.2.6. Ağır Metal Giderimi	28
3.2.7. Renk Giderme.....	29
3.2.8. Çam Kozalağı Tozu Karakterizasyonu.....	30
3.2.8.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleme.....	30
3.2.8.2. Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) Analizi	32
BÖLÜM 4	33
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	33
4.1. OPTİMUM PIHTILAŞTIRICI KONSANTRASYONUNUN TAYİNİ.....	33
4.1.1. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi	34
4.1.2. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Renk Giderimi Üzerindeki Etkisi.....	34
4.1.3. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Toplam Askıda Kati Maddelerin (TAKM) Uzaklaştırılması Üzerindeki Etkisi	36
4.1.4. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Amonyak Giderimi Üzerindeki Etkisi.....	37
4.1.5. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Ağır Metallerin Uzaklaştırılması Üzerindeki Etkisi.....	38
4.2. OPTİMUM PIHTILAŞTIRICI KONSANTRASYONUNDA OPTİMUM pH'nın BELİRLENMESİ.....	39
4.2.1. pH'ın KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi	39
4.2.2. pH'ın Renk Kaldırma Üzerindeki Etkisi	40
4.2.3. pH'ın Toplam Askıda Kati Madde (TAKM) Giderimi Üzerindeki Etkisi.....	41
4.2.4. pH'ın Amonyak Giderimi Üzerindeki Etkisi.....	41
4.2.5. pH'ın Ağır Metallerin Uzaklaştırılmasına Etkisi.....	42
4.3. TARTIŞMA VE KANI	43
4.3.1. Çam Kozalağı Tozu Dozunun Etkisi	43

	<u>Sayfa</u>
4.3.1.1. Dozajın KOİ, TSS ve Amonyak-Azot NH ₃ -N Uzaklaştırma Verimliliği Üzerindeki Etkileri.....	43
4.3.1.2. Dozajın Ağır Metal Uzaklaştırma Yüzdesine Etkisi (Mn, Fe, Zn, Al ve Ni)	45
4.3.2. Endüstriyel Atık Su Arıtımında pH Değişiminin Etkisi.....	46
4.3.2.1. pH'ın KOİ, Amonyak-azot NH ₃ -N Uzaklaştırma Verimliliği Üzerindeki Etkileri	46
4.3.2.2. pH'ın Ağır Metal (Mn, Fe, Zn, Al ve Ni) Uzaklaştırma Verimliliği Üzerindeki Etkileri	47
4.3.3. Çam Kozalağı Tozu Karakterizasyonu Scanning Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri	48
4.3.4 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Analizi	49
BÖLÜM 5	51
SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çam kozalığı tozu hazırlama şablonu.	4
Şekil 3.1. Çam Kozalakları ve Tozu.....	21
Şekil 3.2. Deneysel İşlemler.....	24
Şekil 3.3. COD tespiti için standart dikromat manifoldu	26
Şekil 3.4. Amonyum nitrojen tayini	27
Şekil 3.5. Toplam Askıda Katı Madde Tayini.....	28
Şekil 3.6. Metal Analizi İçin Şematik Bir Temsil	29
Şekil 3.7. Renk Testi İçin Kullanılan Spektrofotometre	30
Şekil 3.8. Taramalı Elektron Mikroskobu	31
Şekil 3.9. FTIR Spektroskopu	32
Şekil 4.1. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi.....	34
Şekil 4.2. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Renk Giderme Üzerindeki Etkisi.....	35
Şekil 4.3. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun TAKM Giderimi Üzerindeki Etkisi ...	36
Şekil 4.4. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Amonyum Azotu Giderimi Üzerindeki Etkisi.....	37
Şekil 4.5. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Ağır Metallerin Uzaklaştırılması Üzerindeki Etkisi	38
Şekil 4.6. pH'ın KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi	40
Şekil 4.7. pH'nın Renk Giderme Üzerindeki Etkisi	40
Şekil 4.8. pH'ın Amonyak Giderimi Üzerindeki Etkisi	42
Şekil 4.9. pH'ın Ağır Metal Giderimi Üzerindeki Etkisi.....	43
Şekil 4.10. Çam Kozalakları Toz Dozunun KOİ, TSS ve NH ₃ -N Giderimi Üzerindeki Etkileri (pH: 8).....	44
Şekil 4.11. pH'ın KOİ, TSS ve Amonyak-azot NH ₃ -N Giderimi Üzerindeki Etkileri	47
Şekil 4.12. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Gözlemlenen Çam Kozalağı Tozu için Mikroskopik Görüntü (2 µm). Koagülasyon İşleminde Önce (A), Koagülasyon İşleminde sonra (B).....	49
Şekil 4.13. Çam Kozalağı Tozu için Fourier Dönüştürülmüş Kızılötesi (FTIR) Spektroskopi Eğrisi	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Endüstriyel (Demir-Çelik Fabrikası) Atık Su Karakteristiği	22
Çizelge 3.2. Karakterizasyon Parametreleri ve Yöntemleri	23
Çizelge 4.1. Optimum pıhtılaştırıcı konsantrasyonunun tayini	33
Çizelge 4.2. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi ...	34
Çizelge 4.3. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Renk Giderme Üzerindeki Etkisi ...	35
Çizelge 4.4. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Toplam Üzerindeki Etkisi Askıda Katı Madde (TAKM) Giderme	36
Çizelge 4.5. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Toplam Amonyum Azotu Giderme Üzerindeki Etkisi	37
Çizelge 4.6. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Ağır Metallerin Uzaklaştırılması Üzerindeki Etkisi	38
Çizelge 4.7. Optimum (3 g/l) Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunda Optimum pH Tayini	39
Çizelge 4.8. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi ...	39
Çizelge 4.9. pH'ın Renk Giderme Üzerindeki Etkisi	40
Çizelge 4.10. pH'ın Toplam Askıda Katı Madde (TSS) Giderimi Üzerindeki Etkisi	41
Çizelge 4.11. pH'ın Amonyak Giderimi Üzerindeki Etkisi	41
Çizelge 4.12. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Toplam Ağır Metal Giderimi Üzerindeki Etkisi	42
Çizelge 4.13. Çam kozalağı tozunun kütle yüzdesi	49

SİMGELER VE KISITLAMALAR LİSTESİ

KISALTMALAR

- SBÖ : Su Bulanıklık Ölçer
GOS : Gelişmiş Oksidasyon Süreçleri
BBF : Benzil Butil Ftalat
BOİ : Biyolojik Oksijen Gereksinimi
BTEK : Benzen, Toluen, Etilbenzen ve Ksilen
MSS : Merkezi Sinir Sistemi
KOİ : Kimyasal Oksijen İhtiyacı
DBF : Dibütil Ftalat
DDT : Dikloro Difenil Trikloroetan
DEHP : Bis(2-etilheksil) Ftalat
DNA : Deoksiribonükleik Asit
ASD : Atık Su Damıtma
FTIR : Fourier Dönüşümü Kızılötesi Analizi
YYP : Yüksek Yoğunluklu Polietilen
KDa : Kilodalton
MO : Moringa Oleifera Tohumları
NF : Nonil Fenol
PAHs : Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
BBP : Bitki Bazlı Pıhtılaştırıcılar
PKF : Penta Kloro Fenol
KOT : Kalıcı Organik Kirleticiler
RO : Reaktif Oksijen Türleri
TEM : Taramalı Elektron Mikroskobu
TÇK : Toplam Çözünmüş Katılar
TAKM: Toplam Askıda Katı Madde
UV : Ultraviyole

DDKV : Dünya Doğayı Koruma Vakfı

BÖLÜM I

GİRİŞ

Su, doğanın insana ve ekosisteme uzun vadede hayatta kalması için verdiği en büyük armağandır. Tatlı su tüketilir ve daha sonra atık su olarak çevreye geri verilir ancak bu ilk çıkartıldığı zamanki gibi değildir, insanın temel ihtiyacı temiz sudur. Doğal maddeler mümkün olduğunca pıhtılaşma ve flokülasyon sürecine dahil edilmelidir. Ancak doğal pıhtılaştırıcıların temel arıtma için kullanımı, performanslarını azaltan ve artan sınırlamalar nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Doğal ve insan yapımı pıhtılaştırıcılar genellikle pıhtılaşmaya yardımcı olarak kullanılır. İyon değişimi, solvent ekstraksiyonu, ters ozmoz, sedimentasyon ve filtrasyon gibi bazı geleneksel atık su arıtma prosedürleri önemli bakım ve işletme maliyetlerine sahiptir ancak ağır metaller gibi kirleticilerin giderilmesinde etkisizdir [1,2].

Doğal pıhtılaştırıcılar, verimlilikleri ve düşük maliyetleri nedeniyle son zamanlarda su ve atık su endüstrilerinde büyük ilgi görmektedir. Doğal pıhtılaştırıcılar olarak kullanılabilen yeni bitki türleri ve bileşenleri, uyumlu araştırma ve geliştirme çabalarıyla keşfedildi ve mevcut bitki bazlı doğal pıhtılaştırıcıların etkinliği artırıldı.

Son yıllarda sanayileşme ve şehirleşmenin yanı sıra nüfus artışının bir sonucu olarak su tüketimi artmış ve bunun sonucunda farklı sanayileşme ve şehirleşme faaliyetlerinden kaynaklanan atık sular da artmış, temiz ve güvenli suya erişim önemli bir problem haline gelmiştir [1-3]. Kimyasal pıhtılaştırıcılara göre daha uygun maliyetli [4-6] ve çevre dostu olan ve birçok araştırmacı tarafından kimyasal pıhtılaştırıcılara uygulanabilir bir alternatif olarak araştırılan doğal pıhtılaştırıcıların su/atık su arıtımı için kullanımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Bu sorunu çözmek ve etkili ve etkisiz arıtmanın dezavantajlarının üstesinden gelmek gerekir. Doğal pıhtılaştırıcıların kimyasal pıhtılaştırıcılara göre daha uygun maliyetli

ve çevre dostu olan su/atık suların arıtımı için [5-7, 13] kullanımına ilişkin çok sayıda çalışma yapılmış ve birçok araştırmacı tarafından uygulanabilir bir alternatif olarak araştırılmıştır. Doğal pıhtılaştırıcılar yerinde yetiştirilebilir ve biyolojik olarak parçalanabilirler. Kimyasal pıhtılaştırıcılara kıyasla daha az çamur üretirler ve insanlar için daha güvenlidirler [14-19].

Artan sanayileşmenin bir sonucu olarak çeşitli atık su süreçlerinde atık suların oluşması önemli çevre sorunları yaratmıştır. Bu atık suların kontrolsüz boşaltımı, suyu ve toprağı kirletme potansiyeline sahiptir. Bunun, toprak ve su gibi abiyotik bileşenler üzerindeki etkilerine ek olarak canlı türlerinin sağlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır [13, 20, 21]. Her gün, tüm dünyada çok büyük miktarlarda endüstriyel atık üretilmektedir. Organik asitlerin ve ligninin kimyasalları ve sodyum tuzları, aynı zamanda yüksek seviyelerde KOİ, yağlar, deterjanlar, katı yağlar ve asılı partiküller içeren endüstriyel atıklar sularda bol miktarda bulunmaktadır [15, 22–24]. Arıtılmamış veya yetersiz arıtılmış atık su, önemli insan sağlığı ve çevresel sonuçlarının yanı sıra tatlı su tanklarını kirletme potansiyeline sahiptir [25].

Bu çalışmanın amacı, doğal pıhtılaştırıcı olarak Çam (*Pinus nigra*, Pinaceae) kozalağı tozu kullanılarak demir ve çelik endüstrisi atık sularının organik ve inorganik kirliliklerden arıtılmasıdır. Bu amaçla, organik kirleticilerin ve ağır metallerin endüstriyel atık sulardan uzaklaştırılmasında doğal pıhtılaştırıcının uygulanabilirliği ve fizibilitesi araştırılmıştır.

1.1. TEZİN YAPISI

Tez aşağıda gösterildiği gibi beş bölümden oluşmaktadır:

Bölüm I: Bu bölümde endüstriyel atık su arıtımı için farklı yöntem ve teknolojilerin yanı sıra farklı pıhtılaştırıcıların kullanımı da dahil olmak üzere tarihsel bir arka plan sunulmaktadır.

Bölüm II: Bu bölümde endüstriyel atık su arıtımı için farklı yöntem ve teknolojilerin yanı sıra farklı pıhtılaştırıcıların kullanımı da dahil olmak üzere tarihsel bir arka plan sunulmaktadır.

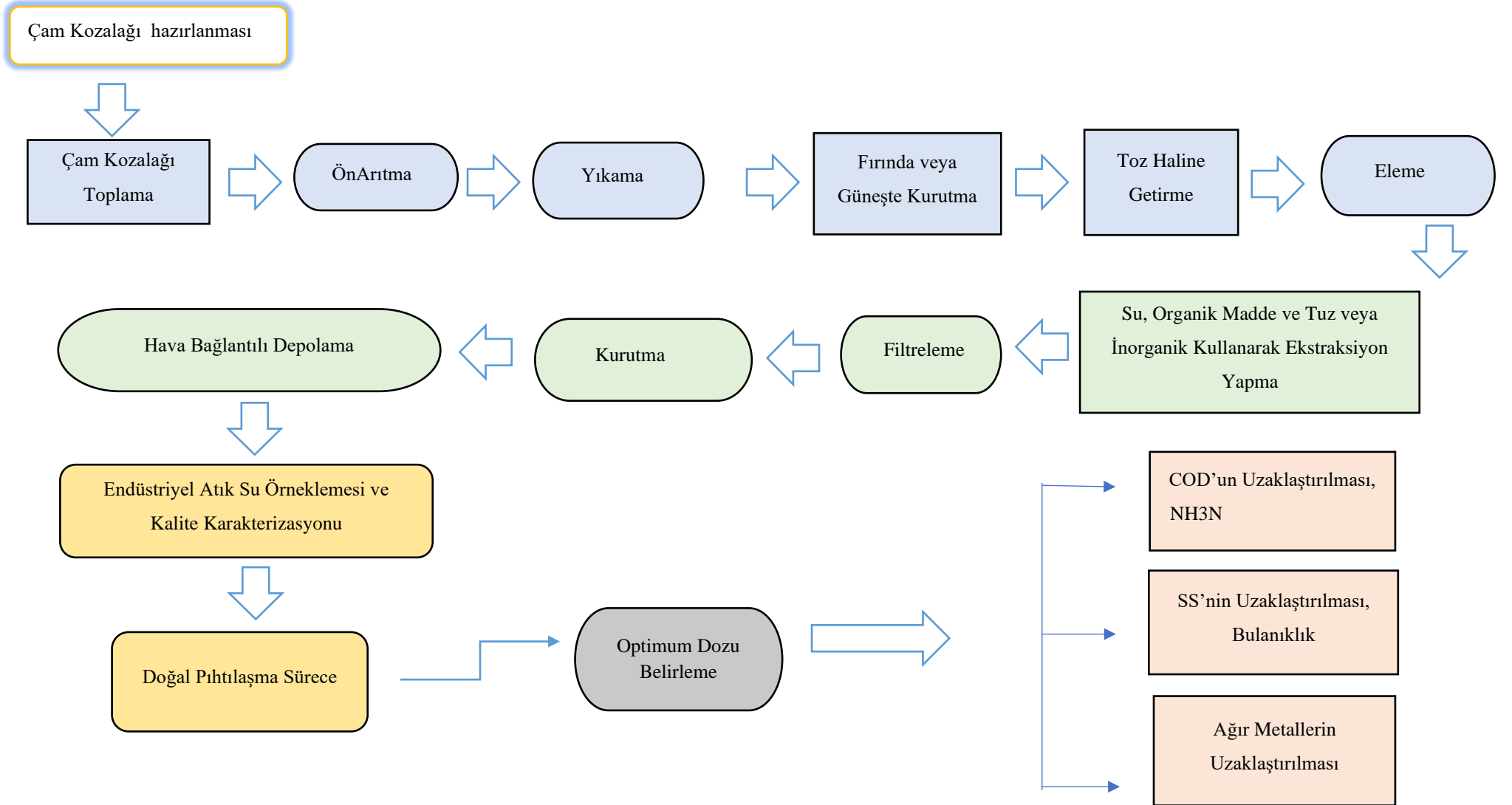
Bölüm III: Bu bölüm, tüm deneysel prosedürlerin ve çalışma şemasının açıklandığı bölümdür.

Bölüm IV: Bu bölümde tüm deneysel sonuçlar listelenmekte, tablolaştırılmakta, grafiksel olarak sunulmakta ve tartışılmaktadır.

Bölüm V: Bu kısım elde edilen sonuçlara ve analiz edilen verilere dayanarak sonuçların çıkarıldığı son bölümdür.

Temel olarak çalışma planı şudur:

- Çam kozalağı tozunu hazırlamak, ve KOİ, Amonyum azotu, bulanıklık ve ağır metallerin giderilmesi için optimum dozajı ve pH'ı aşağıdaki Şekil 1.1' de gösterildiği gibi belirlemek.



Şekil 1.1. Çam kozalağı tozu hazırlama şablonu.

BÖLÜM 2

ENDÜSTRİYEL ATIK SU KİRLİLİĞİ

Birleşmiş Milletler WWF'ye [26] göre, su gezegenimizin %70'ini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, dünyadaki suyun sadece %3'ü tatlı su ve bunun üçte ikisi donmuş buzullarda yer alıyor ya da başka bir deyişle bizim kullanımımız için uygun değildir. Bu nedenle, ekosistemlerin gelişmesini sağlayan ve artan insan nüfusunu besleyen su önemli hale gelmiştir. Nehirler, göller ve akiferler kuruyor veya kullanılamayacak kadar kirleniyor. Dünyadaki sulak alanların yarısından fazlası yok olmuştur. Tarım, diğer tüm kaynaklardan daha fazla su tüketmekte ve suyun çoğu verimsizlikler nedeniyle israf olmaktadır. İklim değişikliği, dünya çapında hava ve su modellerini değiştirerek bazı bölgelerde kıtlıklara ve kuraklıklara, bazılarında ise sellere neden olmaktadır [26].

Sanayi devrimi ile küresel nüfusta artış olmuş, üretim süreçleri daha verimli ve üretken hale gelmiş, bilim çok daha gelişmiş ve hayatımız büyük ölçüde değişmiştir. Su kirliliği ve kıtlığından endüstriyel atık su, evsel atıksu, yağmur suyu akışı, kirli tank suyu ve tarımsal uygulamalar gibi birçok kaynak sorumludur. Bunların dışında endüstriler kilit bir rol oynar ve ayrıca çeşitli toksik kimyasallar, organik ve inorganik maddeler, çamur, radyoaktif çamur, kükürt, asbest, zehirli çözücüler, poliklorlu bifenil, kurşun, cıva, nitratlar, fosfatlar, asitler, alkaliler, boyalar, pestisitler, benzen, klorobenzen, karbon tetraklorür, toluen ve uçucu organik kimyasallar da önemli etken maddelerdir. Bu atıklar, yeterli arıtma yapılmadan su ekosistemine boşaltıldığında her türlü yaşamı tehdit eder hale gelmektedir. Endüstriyel atık sular anemi, düşük kan trombositleri, baş ağrıları, kanser ve birçok cilt hastalığının oluşmasından sorumludur. Bu tür sorunları önlemek için etkili arıtma teknolojisi, yeterli arıtma, suyun yeniden kullanımı, tuzdan arındırma, altyapı onarım ve bakımı, su tasarrufu ve ayrıca sıkı bir şekilde uygulanacak kirlilik kontrolü kanunu ve mevzuatı ve bunların doğru uygulanması önemli bir rol oynamaktadır [27].

Gelişmekte olan ülkelerde sanayi, ekonomide önemli bir rol oynayabilir ancak aynı zamanda çevre için büyük bir kirlenici olarak da görülebilir. Farklı endüstrilerden boşaltılan endüstriyel atık sular bu tür çevre kirliliğinin (toprak ve su) kaynaklarından biridir [28-32]. Bu tür kirliliğin kaynağı, atık sudaki ciddi sağlık tehlikeleri olabilen organik ve inorganik kirlenicilerdir [33]. Organik kirleniciler arasında fenoller, klorlu fenoller, endokrin bozucu kimyasallar, azot boyalar, poliaromatik hidrokarbonlar, poliklorlu bifeniller, pestisitler vb. bulunur [33]. Ancak inorganik kirleniciler arasında kadmiyum (Cd), krom (Cr), arsenik (As), kurşun (Pb) ve cıva (Hg) gibi çeşitli toksik ağır metaller bulunur. Bu tür kirlenicilerle ilgili sorun, organik kirlenicilerin biyolojik olarak bozulabilir olmasının düşük olması ve inorganik kirlenicilerin biyolojik olarak bozulmamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla her ikisi de çevre güvenliği ve insan sağlığının korunması için büyük bir güçlük teşkil etmektedir. Bu nedenle endüstriyel atık suların çevreye nihai olarak atılmadan önce arıtılması çok önemlidir [33].

Atık su arıtmanın bir yolu, biyoremediasyon olarak bilinen atık sudaki kontaminasyonu nötralize etme veya giderme için organizmaları kullanma sürecidir. Belirli koşullar altında zararlı olabilecek bir organizma kullanmasına rağmen, bu tür atık su arıtımında toksik kimyasalların kullanılmadığını anlamak çok önemlidir [34].

US Çevre Koruma Ajansı tarafından çevre dostu bir atık yönetimi tekniği olarak biyoremediasyon kabul edilmiştir. Biyoremediasyon da, kontamine matristeki organik ve inorganik kirlenicileri ayrıştırmak/detoksifiye etmek için çeşitli metabolik yollara sahip bir dizi mikroorganizma kullanır. Bu nedenle, basit yapısal kurulum, daha geniş uygulama ile atık su arıtma ve yönetimi için çevre dostu, operasyonel kolaylık ve daha az çamur üretimi olduğu için uygun maliyetli bir yöntem olarak kabul edilir [35-36].

Farklı endüstrilerden üretilen atık sular, toksik içerikleri nedeniyle canlı organizmalar ve çevre için tehlikeli olabilir [37]. Bununla birlikte toksisitesi, ürün kalitesi kadar endüstrinin doğasına, özelliklerine ve türüne bağlı olacaktır. Endüstriler genellikle yüksek biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), toplam çözünmüş katılar (TÇK), toplam askıda katılar (TAKM), çeşitli organik ve inorganik kirleticiler ile karakterize edilen yüksek kirlilik yüklü atık suları deşarj eder [37].

Farklı endüstriyel atık suların doğası ve özellikleri aşağıda listelenmiştir:

- Petrol Rafinerisi Atık Suyu: BTEX (benzen, toluen, etilbenzen ve ksilen) gibi yüksek aromatik hidrokarbonların yağ türevlerine ek olarak dioksinler, fenoller ve yüzey aktif maddeler içerdiğinden biyolojik olarak kötü bir şekilde parçalanabilir olarak kabul edilir [38].
- Selüloz ve Kağıt Fabrikası Atık Suları: Ekstra koyu kahverengi renk, BOİ, askıda katılar, furanlar ve tehlikeli fenoller ile karakterize edilir [39].
- Tekstil Atık Suları: Doğada alkalidir ve oldukça renklidir. Genellikle asidik, bazik, reaktif, dispers, azo, diazo, antrakinon bazlı ve metal kompleks boyalar (bazıları doğada kanserojen) gibi zararlı artık boyalar içerir [40].
- Tabakhane Atık Suyu: Yüksek organik yükler (BOD, KOİ ve TAKM), tuzlar (sodyum, klorür ve sülfür), fenolik bileşikler, nonilfenoller ve ftalatlar gibi endokrin bozucu kimyasallar ve diğer toksik metaller, özellikle krom (yüksek derecede toksik olduğu kanıtlanmış kanserojen) içerir [41].
- Damıtım Atık Suyu (Harcanan Su): Yüksek organik yüklenme (BOD, KOİ ve TDS) ve fenolikler ve koyu siyah renkli rekalsitran melanoidinler içerir (Güneş ışığının su kütlelerine girmesini durdurur ve dolayısıyla fotosentezi azaltır) [42].
- Şaraphane Atık Suyu: Doğada asidik, değişken akışlar ve yüklemeler, yüksek organik madde içeriği, KOİ ve TSS içerir. Organik fraksiyon şekerler, alkoller,

asitler ve polifenoller, tanenler gibi yüksek moleküler ağırlığa dayanıklı bileşiklerden oluşur [42].

- Farmasötik Atık Suyu: Doğada asidik ve yüksek KOİ ve TDS'ye sahiptir. Birçok organik çözücü, formülasyon, dezenfektan ve antibiyotik, analjezik vb. birçok jenerik ilaç içerir [43].
- Mezbaha Atık Suyu: Yüksek düzeyde organik (KOİ esas olarak kolloidal formda) ve kaba askıda madde ve ağır metaller, besinler, patojenik ve patojenik olmayan mikroorganizmalar, deterjanlar ve dezenfektanlar ve bazen veterinerlik için kullanılan farmasötik maddeler içerir [44].
- Tarımsal Atık Su: Doğada alkalidir ve yüksek oranda nitrojen, fosfor, pestisit ve kadmiyum, kurşun, arsenik gibi çeşitli toksik metaller içerir [45].
- Depolama Sahası Sızıntı Suyu: Bileşimi depolama sahasından depolama sahasına değişir. Genellikle renkli, anoksik ve yüksek TDS, KOİ, BOİ'ye sahiptir. Amonyak, fenoller, benzen, toluen, klorür, demir, manganez ve kurşun, kadmiyum gibi diğer toksik metalleri, çinko, arsenik veya krom, çok azda fosfor içerebilir [46].
- Asit Maden Drenajı: Doğası gereği asidiktir. Yüksek konsantrasyonlarda demir, sülfat, bakır, nikel ve kadmiyum, kurşun vb. gibi toksik metaller içerir (çevreye zarar verir) [47].
- Farklı Sektörlerden Çelik ve Çamur Atık Su: Çelik sektörü, günümüzün ve geleceğin en önemli ve hayati sektörlerinden biridir. Çelik fabrikaları atık transferi, soğutma ve toz kontrolü için büyük miktarda su kullanır ve endüstriyel prosesler atık su üretirler [48].

2.1. ENDÜSTRİYEL ATIK SULARDA KİRLENME TÜRLERİ

Farklı endüstrilerden deşarj edilen atık sular, canlılarda çevre kirliliğinin ve toksisitenin başlıca kaynakları olarak kabul edilmektedir. Farklı endüstriyel faaliyetler nedeniyle çevreye endüstriyel atık sularla birlikte çok çeşitli yüksek derecede toksik ve kalıcı kirleticiler deşarj edilmektedir. Çevre kirleticileri iki tiptir: organik ve inorganik. Organik kirleticiler esas olarak fenoller, nonilfenoller, klorlu fenoller, azo boyaları, ftalik esterleri, petrol hidrokarbonlarını, pestisitleri, kalıcı organik kirleticileri (POPs) vb. içerir. Bununla birlikte, inorganik kirleticiler arsenik (As), nikel (Ni), krom (Cr), kurşun (Pb), civa (Hg) ve kadmiyum (Cd) gibi yüksek derecede toksik, biyolojik olarak parçalanamayan çeşitli ağır metalleri içerir. Çeşitli organik ve inorganik kirleticilerin canlı organizmalarda ciddi derecede toprak ve su kirliliğine ve önemli ölçülerde toksik etkilere neden olduğu bildirilmiştir [49-54].

2.1.1. Organik Kirlenme

- Fenoller: Endüstriyel atık suların en yaygın kirleticileri ve damıtma tesisleri, kağıt hamuru ve kağıt fabrikaları, kömür madenleri, petrol rafinerileri, odun koruma tesisleri, ilaçlar, kok fırını pilleri, herbisitler ve pestisitler ile bunların atık suları ile ilişkilidir. Ayrıca alkilfenoller, kresoller, ksilenoller, fenolik reçineler, anilin, pestisitler, patlayıcılar, boyalar ve diğer bileşikler gibi çeşitli kimyasalların hazırlanmasında da kullanılır. Akut maruziyeti boğaz ve ağız kuruluğu, bulantı, kusma ve ishale neden olur. Kronik maruziyeti methemoglobinemi, hemolitik anemi, aşırı terleme, hipotansiyon, aritmi, pulmoner ödem, taşikardi ve lipid peroksidasyonu nedeniyle koyu renkli idrara, felce, komaya yol açan merkezi sinir sistemi bozukluklarına ve bazen vücut ısısında azalma ile birlikte kas kasılmalarına (hipotermi) yol açar. Solunum ve deri teması sırasıyla kardiyovasküler hastalıklara ve ciltte kabarcıklara neden olurken, yutulması ciddi gastrointestinal hasara neden olabilir. Oral uygulaması ise kas titremelerine ve ölüme neden olabilir.
- Endokrin Bozucu Kimyasallar: Bunlar endüstrilerde, polivinil reçineler gibi plastik reçinelerin, selülozik ve poliüretan polimerlerin imalatında

plastikleştirici olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar hassas hormonal dengeyi (endokrin sistemi) bozar. Canlıların üremesini tehlikeye atar ve sonuç olarak kanserojen ve mutajenik etkilere yol açabilir. Örnekleri arasında dibutil ftalat (DBP), benzil butil ftalat (BBP), bis (2-etilheksil) ftalat (DEHP) ve nonilfenol (NP), 4-aminobifenil, heksaklorobenzen ve benzidin bulunur. Bunlar ayrıca ciltte, konjonktivada, ağız ve burun boşluklarının mukozalarında, testis lezyonlarında, hipospadiaslarda, erkeklerde ve kadınlarda kriptorşidizmde obeziteye, östrus döngüsünün uzamasına ve serum östradiol seviyesinin düşmesine bağlı olarak anovülasyona neden olur.

- Klorlu Fenoller: Klorofenoller, kağıt hamuru ve kağıt fabrikaları, tabakhaneler, içki fabrikaları, boya ve boya imalatı ve ilaç endüstrilerinden, örneğin pentaklorofenolden (PCP) gelen atık sularla birlikte değarj edilen başlıca çevresel kirleticiler olarak kabul edilir. Herbisitler ve mantar öldürücüler olarak ve ahşap korumada, tabakhanelerde, içki fabrikalarında, boya imalatında, kağıt hamuru ve kağıt fabrikalarında yaygın olarak kullanılır. Doğada oldukça kanserojen, teratojenik ve mutajeniktir. Oksidatif fosforilasyonu inhibe ederek solunum enzimlerini inaktive eder ve mitokondriyal yapıya zarar vererek canlılarda toksisiteye neden olur. Yüksek konsantrasyonu ayrıca akciğerlerin dolaşım sisteminde tıkanmaya, kalp yetmezliğine ve merkezi sinir sistemine zarar verebilir.
- Azo Boyaları: Tekstil, deri, boya, akrilik, kozmetik, plastik, ilaç vb. endüstri ürünlerini renklendirmek için farklı boyalar kullanır. Çok kullanılan azo boyaları insanlarda ve hayvanlarda cilt ve sindirim sistemi tahriş, mide bulantısı, kusma, karaciğer ve böbrek hasarı vb. gibi hastalıklara neden olur.
- Petrol Hidrokarbonları: Rafineri endüstrisi atık suları, çevredeki petrol hidrokarbonlarının başlıca kaynaklarıdır. En yaygın petrol hidrokarbonları, alifatik, dallı ve sikloalifatik alkanların yanı sıra naftalin, floren, fenantren, antrasen, floranten, piren, benzo[a]antrasen ve benzo[a] içeren monosiklik ve polisiklik aromatik hidrokarbonları (PAH'lar) içerir. İnsanlarda hidrokarbonların solunması, suç veya şiddet içeren davranışlara, hafıza ve diğer

bilişsel eksikliklerin oluşmasına, serebellar disfonksiyona, ensefalopatiye, zayıflığa, demansa, merkezi sinir sisteminin depresyonuna, metabolik asidoza, aritmiye ve hatta “ölümcül malign aritmiye” yol açabilir. Ek olarak, hidrokarbonların aspirasyonu öksürük, hırıltılı solunum, solunum sıkıntısı ve hipoksi ile karakterize potansiyel olarak ölümcül bir pnömoniye neden olur. Dermal maruziyet dermatite, kimyasal yanıklara ve yağ yakıcı yaralanmaya neden olabilirken, oral maruziyet lokal tahrişe, ayrıca kusmaya, ishale ve karın ağrısına yol açabilir. Bu nedenle, akut hidrokarbon maruziyeti, ensefalopati, pnömonit, aritmi, asidoz ve dermatit gibi çok çeşitli patolojilere sebep olabilir. Kasıtlı soluma ve aspirasyonla kazara yutulma maruziyetleri de en büyük morbidite ve mortaliteye yol açar Melanoidinler, çeşitli tarıma dayalı endüstriler, özellikle kamış melası bazlı damıtma tesisleri ve fermantasyon endüstrileri tarafından çevresel kirleticiler olarak salınır. FR (DWW) içeren melanoidinlerin çevreye deşarjı, güneş ışığı penetrasyonunun ve fotosentetik aktivitenin azalması ve çözülmüş oksijen konsantrasyonu gibi çeşitli sorunlara neden olarak suda yaşam için zararlı etkiler oluşturmaktadır. Karada toprak alkalitesinde azalmaya ve tohum çimlenmesinin inhibisyonuna neden olur. DWW içeren melanoidinlerin balıklar ve diğer suda yaşayan organizmalar üzerinde ciddi toksik etkileri vardır.

- Pestisitler: Pestisitler, tarımsal uygulamalarda bitkiye ve toprağa zarar verenleri kontrol etmek ve mahsul verimliliğini artırmak için kullanılır. Pestisitler (DDT, piretroidler, organofosfatlar, karbamatlar vb. gibi), mantar öldürücüler (heksaklorobenzen, benzotiyazol, pentaklorofenol vb. gibi mantarları öldürmek için kullanılır), herbisitler (2,4-D gibi yabancı otları öldürmek için kullanılır, atrazin, pikloram, klorofenoksi bileşikleri vb.), kemirgen öldürücüler (çinko fosfit, a-naftiltioüre [ANTU], 4-hidroksikumarin, 1,3-indandionlar, ve fumigantları gibi kemirgenleri öldürmek için kullanılır). Fumigantlar (fosfin, dibromokloropropan, vb.) zararlıları, insan ve hayvanları, ayrıca hedef olmayan organizmaları doğrudan veya dolaylı olarak etkiler. Canlılar maruz kaldıklarında bağışıklık sisteminin baskılanmasına, hormon bozulmasına, zeka geriliğine, üreme anormalliklerine ve kansere neden olurlar.

2.1.2. İnorganik Kirlenme

Ağır metaller, yüksek derecede toksik inorganik kirletici maddelerden biri olarak kabul edilir. Endüstriyel atık sularda stabilitesi ve birikimi nedeniyle hayati sistemleri etkiler. Bu elementler yüksek çözünürlükleri ile bilinirler. Daha sonra besin zinciri yoluyla insanlara ulaşır. Bu elementlerden bazıları aşağıda listelenmiştir [53-54]:

- Kadmiyum: Şarj edilebilir pillerde, özel alaşım üretiminde, kaplamalarda, pigmentlerde, plastik stabilizatör olarak kullanılır ve ayrıca tütün dumanında bulunur. Akut Cd maruziyeti karın ağrısı, yanma hissi, bulantı, kusma, tükürük salgısı, kas krampları, vertigo ve şoka neden olur. Bilinç kaybı ve kasılmalar genellikle 15-30 dakika içinde ortaya çıkar ve gastrointestinal sistem erozyonu; pulmoner, hepatik veya renal hasar ve zehirlenme yoluna bağlı olarak koma gelişebilir. Bununla birlikte, kronik Cd maruziyeti norepinefrin, serotonin ve asetilkolin seviyeleri üzerinde depresif bir etkiye sebep olur. Cd toksisitesinin mekanizması iyi bilinmemekle birlikte, DNA hasarına yol açan reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi yoluyla hücre hasarına neden olduğu varsayılmaktadır.
- Krom: Metalurji, kimyasal, ateşe dayanıklı tuğla, deri, ahşap koruma ve pigmentler ve boyalar gibi endüstriler, kromun ana tüketicileridir. Cilt tahrişi, burun tahrişi, ülserasyon, kulak zarı delinmesi ve akciğer kanseri gibi ciddi sağlık sorunlarına neden olur.
- Arsenik: Arsenik (As), kardiyovasküler ve merkezi sinir sistemlerinde ciddi rahatsızlıklara sebep olur. Ayrıca kemik iliği depresyonuna, hemoliz, hepatomegali, melanoz, polinöropati ve ensefalopatiye neden olur ve maruz kalma sonunda ölüme yol açar.
- Kurşun: Toprak ve suyun Pb ile kontaminasyonu çoğunlukla antropojenik faaliyetlerden, endüstriyel atıklardan, madencilik ve eritme işlemlerinden ve Pb'nin boyalarda, pillerde, benzinde, pestisitlerde ve patlayıcılarda geçmişteki ve günümüzdeki kullanımından kaynaklanmaktadır. Pb esas olarak merkezi sinir sisteminde (MSS) hasara neden olur. Bu durum baş ağrısına, düşük dikkat

süresine, irritabiliteye, ensefalopatiye (uykusuzluk ve huzursuzluk ile karakterize), hafıza kaybına, akut psikoza, kafa karışıklığına, bilinç azalmasına ve donukluklara neden olur. Aynı zamanda böbrekleri, karaciğeri, hematopoietik sistemi, endokrin sistemini ve üreme sistemini olumsuz etkiler.

- **Merkür:** Hg maruziyetinin başlıca kaynakları arasında diş amalgamları, termometreler, tansiyon ölçerler, barometreler, fosil yakıt emisyonları, akkor lambalar, piller, cıva kullanan ritüel uygulamalar ve tıbbi atıkların yakılması yer alır. İnsanlarda ve hayvanlarda zeka geriliği, dizartri, körlük, nörolojik bozukluklar, işitme kaybı, gelişimsel bozukluklar ve anormal kas kasılmasına neden olur.

2.2. ATIK SU ARITMA TEKNOLOJİSİ

2.2.1. Biyolojik Yöntemler

Atıkların arıtılması için farklı teknolojiler mevcuttur. Bununla birlikte, biyolojik atık su arıtma yöntemleri, özellikle atık stabilizasyonu ve kaynak geri kazanımı ile birleştiğinde, ekonomik faydaları yüksek olduğu için oldukça değerlidir. Biyolojik süreçler aerobik, anoksik ve anaerobik olarak sınıflandırılır [55-56].

- **Aerobik Arıtma:** Moleküler oksijen (O_2) varlığında meydana gelen ve hücresel enerji üretmek için oksijen kullanan arıtma işlemlerine aerobik işlemler denir. Metabolik olarak en aktif gruptur. Ancak hücre kütlesi olarak daha fazla artık katı üretirler.
- **Anaerobik Arıtma:** Serbest veya birleşik oksijen yokluğunda meydana gelen ve sülfat indirgemesi ve metanojenez (metanojenler olarak bilinen mikroplar tarafından metan oluşumu) ile sonuçlanan işlemlerdir. Genellikle yararlı bir yan ürün olarak biyogaz (yani metan) üretirler. Arıtma yoluyla daha düşük miktarlarda biyokatı üretme eğilimindedirler. Mikrobiyal metabolizma ve/veya oksijen kullanımına dayalı bir sınıflandırmanın yanı sıra biyolojik atık su arıtma ile ilgilidirler.

- Membran Filtreleme: Membranlar, iki farklı fazı ayıran, belirli bileşenlerin geçişine ve diğerlerinin tutulmasına izin veren seçici bariyerlerdir. Membran proseslerinde taşıma için itici güç, membran boyunca bir basınç gradyanı ve kimyasal veya elektriksel potansiyel olabilir. Membran prosesleri, genellikle hiçbir faz değişimi ve besleme akımına kimyasal ilavesi olmaksızın fiziksel bir ayırmaya dayanır. Bu nedenle geleneksel proseslere (yani damıtma, çökeltme, pıhtılaşma/flokülasyon, aktif karbon ile adsorpsiyon, iyon) alternatif bir atık su arıtma tekniği olarak öne çıkar.

2.2.2. Fiziksel Yöntemler

- Sedimentasyon: Sedimentasyon, çevredeki sıvıdan daha yüksek yoğunluğa sahip katı parçacıkları ayıran fiziksel işlemdir. Su akış hızının çok düşük olduğu bir tankta, partiküller yerçekimi etkisi altında dibeye gitme eğilimindedir. Sonuç olarak, üstte kalan sıvı berraklaşırken alttaki partiküller bir çamur tabakası oluşturur ve ardından çamurla birlikte çıkarılır. Sedimentasyon, çeşitli atık su arıtma sistemlerinde yüksek öneme sahip bir işlemdir [57].
- Filtreleme: Filtrasyon işlemleri su ve atık su arıtımında birkaç yüzyıldır kullanılmaktadır. Erken dönemde kurulumlar, şimdi yavaş kum filtrasyon tesisleri olarak adlandırılan, bulanıklığı ve askıda katı maddeleri süzmenin basit bir yolu olarak kabul edilenlerdir. Yavaş kum filtrasyonu, klorlamının dezenfektan olarak kullanılmaya başlandığı 20. yüzyılın ilk yıllarına kadar, kontamine kaynaklardan kaynaklanan su kaynaklı hastalıklardan korunmanın temel yoluydu. Orijinal basit yerçekimi ve basınçlı filtrasyon prosesleri su endüstrisinde hala yaygın olarak kullanılmakta ve su arıtımında temel araç olmaya devam etmektedir. İçme suyu temini için yeni ve daha yüksek düzenleyici standartların ortaya çıkması, zorlukların üstesinden gelmek için tasarlanmış yeni teknolojilerin geliştirilmesine yol açmıştır [58].

2.2.3. Kimyasal Yöntemler

- Ozonlama: Ozon, mikroorganizmaları, inorganik iyonları ve organik kirleticileri gidermek için atık su arıtımında olduğu kadar yüzey veya yeraltı sularının içilebilir hale getirilmesinde de kullanılabilen güçlü bir oksidandır. Ozon, oksidasyon yoluyla sulardan demir, manganez ve arseniği çözünmez bir forma dönüştürür. Su arıtımında mevcut olan en güçlü oksitleyici olan hidroksil radikalini verir. Ozonlama prosesi modelleri, belirli bir kirleticinin istenen uzaklaştırma derecesine veya toplam kirlilik ölçüsüne göre ozon dozunu ayarlamak için gereklidir. Ozon, organik maddenin etkili bir oksidandır ancak üretimi pahalıdır. Ozon kullanımını optimize etmek için yüzey veya yeraltı suyu arıtmalarında pıhtılaşma ve filtrasyon işlemleri ile birleştirilir. Su dezenfeksiyon işlemlerinde tek başına veya UV ile birlikte kullanılır veya endüstriyel atık su arıtımında ozon bazlı diğer oksidanlar, enerji formları veya katalizörlerle birleştirilir [59].
- Pıhtılaşma ve Flokülasyon: Yeraltı suyu ve atık su hem çözülmüş hem de askıda parçacıklar içerir. Askıda katı madde kısmını sudan ayırmak için pıhtılaşma ve flokülasyon kullanılır. Koagülasyon ve flokülasyonun doğru uygulanması bu faktörlere bağlıdır. Sudaki katılar negatif yüklüdür ve aynı tür yüzey yüküne sahip oldukları için birbirine yaklaştıklarında birbirlerini iterler. Bu nedenle askıda katı maddeler süspansiyon halinde kalacak ve uygun pıhtılaşma ve flokülasyon kullanılmadıkça bir araya toplanmayacak ve sudan çökmeyecektir. Pıhtılaşma ve flokülasyon ardışık adımlarda meydana gelir ve partikül çarpışmasına ve flok büyümesine izin verir. Bunu daha sonra sedimentasyon takip eder. Pıhtılaşma eksikse flokülasyon adımı başarısız olur ve flokülasyon eksikse de sedimentasyon başarısız olur. Yumuşak bir karıştırma aşaması olan flokülasyon, partikül boyutunu submikroskopik mikrofloktan görünür asılı partiküllere kadar artırır. Mikrofloklar partikülleri çarpıştırır ve pinfloklar adı verilen daha büyük, görünür topaklar üretmek üzere birleşmelerine neden olur. Flok boyutu, ilave çarpışmalar ve eklenen inorganik polimerler (pıhtılaştırıcı) veya organik polimerler ile etkileşim ile oluşmaya devam eder. Makrofloklar oluşturulur ve pıhtılaştırıcı yardımcılar olarak adlandırılan yüksek moleküler

ağırlıklı polimerler, yumakların köprülenmesine, bağlanmasına ve güçlendirilmesine, ağırlık eklenmesine ve çökeltme hızının artırılmasına yardımcı olmak için eklenebilir. Su ve atık su arıtma ortamlarına uygulanabilen çeşitli pıhtılaştırıcı türleri vardır. Bunlar kimyasal, kimyasal olmayan, sentetik materyal veya doğal pıhtılaştırıcı olabilir [61].

1. İnorganik Pıhtılaştırıcılar: Alüminyum ve demir tuzları, atık su arıtma ortamlarında en yaygın olarak kullanılan inorganik pıhtılaştırıcılardır. Bunlar, alüminyum esaslı metalleri (alüminyum klorür, alüminyum sülfat, sodyum alüminat) ve demir esaslı metalleri (demir sülfat, demir sülfat, demir klorür) içerir. Bu pıhtılaştırıcıların atık suya eklenmesi, monomerik ve polinükleer türler üreten hidroksil iyonları (OH⁻) ile bir dizi reaksiyona girer. Metal bazlı pıhtılaştırıcılar, düşük maliyetleri ve bulunabilirlikleri nedeniyle en yaygın şekilde kullanılır ancak bazı dezavantajlar vardır. Bunlar arasında yüksek dozaj bağımlılığı, yüksek pH gereksinimi, sıcaklık eşitsizliğine karşı zayıflık ve yüksek çamur üretimi yer alır. Bu nedenle, atık suyun arıtılması için polimerik organik ve doğal pıhtılaştırıcılar kullanılarak inorganik pıhtılaştırıcıların geliştirilmesine büyük ilgi vardır [62-63].
 2. Organik Pıhtılaştırıcılar: Organik pıhtılaştırıcılar, atık su ortamlarında pıhtılaştırıcı yardımcıları veya topak oluşturucular olarak uygulanabilen, genellikle alüminyum ve demir bazlı pıhtılaştırıcıların sentezlenmiş monomerleridir. Polimerik moleküllerinin farklı kovalent yüklerine ve bağlarına sahip çeşitli organik pıhtılaştırıcı türleri vardır. Bunlar, yüklü veya iyonik polimerleri (polielektrolitler) ve yüksüz veya iyonik olmayan polimerleri içerir. Yüklü polimerlere göre, pozitif yüklü olanlara katyonik polimerler, negatif yüklü olanlara ise anyonik polimerler denir [64-65].
- İyon Değişimi: İyon değişimi, çözeltilerdeki belirli bir türdeki iyonların, çözünmeyen bir reçineye bağlı benzer yüklü, ancak farklı türlerdeki iyonlarla değiştirildiği bir işlemdir. Özünde iyon değişimi bir sorpsiyon işlemidir ve aynı zamanda tersinir bir kimyasal reaksiyon olarak da düşünülebilir. İyon değişiminin yaygın uygulamaları, su yumuşatma (Ca²⁺ ve Mg²⁺ gibi “sertlik” iyonlarının giderilmesi) ve atık su arıtma işlemlerinde nitrat giderimidir. Bu iyon

değiştirme reçineleri ya doğal olarak oluşan inorganik zeolitler ya da sentetik olarak üretilmiş organik reçinelerdir. Sentetik organik reçineler, özellikleri belirli uygulamalara göre ayarlanabildiğinden, günümüzde kullanılan baskın tiptir [66].

- Kimyasal Çökeltme: Suda kimyasal çökeltme ve atık su arıtımı, suda çözünen maddelerin katı parçacıklara dönüşmesidir. Çözünürlüğü azaltmak için karşı iyonların eklenmesiyle iyonik bileşenleri sudan çıkarmak için kimyasal çökeltme kullanılır. Öncelikle metalik katyonların uzaklaştırılması için kullanılır. Ayrıca florür, siyanür ve fosfat gibi anyonların yanı sıra fenollerin ve aromatik aminlerin enzimler ve deterjanlar ve yağlı emülsiyonlar tarafından baryum klorür ile çökeltmesi gibi organik moleküllerin uzaklaştırılması için kullanılır. [67].
- Adsorpsiyon: Adsorpsiyon, çevresel alandaki geniş bir fiziksel, biyolojik ve kimyasal süreç ve operasyon yelpazesinin ayrılmaz bir parçasıdır. Çözümlenmiş safsızlıkların adsorpsiyonu, su arıtma için yaygın olarak kullanılmaktadır [43]. Adsorpsiyon artık atık su arıtımı ve su ıslahı için üstün bir yöntem olarak görülmektedir. Her ne kadar ağır metaller örneğin, Cd, Zn, Pb, Fe, Cu, Hg, Ni, Mn, Co vb. normalde eser miktarlarda bulunurlar ve atık su atıklarında en toksik ve yaygın bileşenler olarak kabul edilirler [69]. Ağır metaller hem insan sağlığı hem de çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olur, örneğin bakır iyonları karaciğer hasarına, uykusuzluğa neden olabilir ve toprak enzimatik aktivitelerini engelleyebilir. Ağır metali sulu ortamdan verimli bir şekilde uzaklaştırmak için solvent ekstraksiyonu, pıhtılaşma, iyon değişimi, kimyasal çökeltme, membran filtrasyonu ve elektrokimyasal teknolojiler gibi çeşitli teknikler önerilmiştir. Yöntemler arasında, operasyondaki, tasarım süreçlerindeki esnekliğinin bir sonucu olarak adsorpsiyon tekniği ön plana çıkmakta ve toksisite, biyolojik kullanılabilirlik ve atık sudaki ağır metallerin taşınması üzerinde önemli etkiye sahip görünmektedir [70]. İki tip adsorpsiyon fiziksel ve kimyasal adsorpsiyondur, Fiziksel adsorpsiyon tersine çevrilebilir, ancak daha az spesifiktir, diğer yandan kimyasal adsorpsiyon daha spesifik ve geri döndürülemez.

2.3. ATIK SULARIN ARITIMINDA DOĞAL PIHTILAŞTIRICILARIN KULLANIMI

Kimyasallar ve ilgili ürünleri becerikli olmasına rağmen, bunlar suyun özelliklerini fiziksel ve kimyasal özellikler açısından değiştirebilir ve bu durum çamurun bertarafını daha da kötüleştirir. Su ve atık su arıtımında bir doğal polimer seçeneği kullanılabilir [71]. Literatürde [72] 4000 yıl önce Hindistan ve Myanmar gibi ülkelerde nirmali (*Strychnos patatesrum*) tarafından doğal bazlı pıhtılaştırıcıların kullanıldığı, Sudan ve Mısır'da ise badem ve ıslatılmış fasulyenin uygulandığı belirtilmektedir. 16. yüzyıldan itibaren su kalitesini artırmak için su arıtma maddeleri olarak doğal bazlı pıhtılaştırıcılar, çeşitli eski kayıtlarda ve geçmiş çalışmalarda etkili bir şekilde kabul edilmiştir [73]. Bununla birlikte, bu malları satın almada sınırlamaya sahip olan fakir ülkeler dışında, daha gelişmiş sentetik malzemelerin istila büyümesi ile doğal bazlı pıhtılaştırıcıların artık ana öncelik olmadığını kabul etmek üzücüdür. Bununla beraber, kimyasal pıhtılaştırıcılarla ilgili artan endişeler vardır. Bu nedenle araştırmacılar günümüzde muhtemelen kimyasal bazlı olmayan daha çevre dostu bir su ve atık su arıtma maddesi geliştirmeye çabalamaktadır [73]. Özellikle atık su endüstrisinde verimli prosesler geliştirmenin zor olduğu sürdürülebilir su yönetimine büyük önem verilmiştir. Doğal içeriklerden laboratuvarında üretilen sentetik kimyasal bazlı ürünlere kadar devam eden araştırmalar, atık su arıtımında başarılı yaklaşımlar için her zaman yeniden doğal malzemeleri beklemektedir. Özellikle bitki özlerinden elde edilen doğal pıhtılaştırıcılar her zaman bol miktarda bulunur ve toksik içermediği bilinir [74-75]. *Moringa oleifera* (MO) tohumları, kitosan ve manyok kabuğu gibi bitkilerden, hayvansal ve tarımsal atıklardan üretilen veya ekstrakte edilen doğal pıhtılaştırıcıların veya pıhtılaştırıcı yardımcı maddelerin kullanımı hakkında çeşitli çalışmalar yapılmıştır [76]. Yıllar boyunca, (MO) tohumu ve kitosan gibi bu organik pıhtılaştırıcılar daha önceki literatürde en çok alıntı yapılanlar olmuştur [77-82].

Doğal polimerler, aşağıdakiler gibi çeşitli faydalar sağlayan en verimli olanlardır. Bunlar verimli, arıtılmış sudaki fiziksel ve kimyasal değişikliklerden muafır. Bunlara mikrobiyal polisakkaritler, nişastalar, jelatin galaktomannanlar, selüloz türevleri, kitosan, yapıştırıcılar ve aljinat dahildir. İnsan sağlığına zararsız olduğu varsayılan doğal özellikler taşıyan pıhtılaştırıcılar, alüminyum kabuğunun varlığı ise nöroloji ve

patoloji hastalıklarını tetikleyebilir. Doğal pıhtılaştırıcılar, pıhtılaştırıcı yardımcısı olarak tüketilen bazı yapay pıhtılaştırıcılarla karıştırılır ve temel pıhtılaştırıcı olarak etkinlikleri erken aşamalarda kalır.

2.3.1. Bitki Bazlı Pıhtılaştırıcılar (PBC)

PBC daha az kirlenmiş olan atık suyun arıtılması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni PBC suni arıtıcılarla karşılaştırıldığında daha az taşıma maliyeti ile işlem yapılan pıhtılaştırıcılar gibi görünmektedir. PBC pıhtılaştırıcıların, düşük ila orta bulanıklık aralığı (50–500) NTU gösteren suyu arıttığı varsayılır. PBC'nin ekosistem için önemi, araştırmacı için araştırmayı güçlendirmede doğal kaynakları bulmak için bir alan sağlar. Açıklanan PCBler arasında Nirmali tohumları, Moringa oleifera, tanen ve kaktüs bulunmaktadır [83]. Son zamanlarda, gelişmekte olan ülkelerde su arıtımı için doğal pıhtılaştırıcılara olan ilgi yeniden canlanmıştır [84]. Moringa oleifera, kurak bölgeler de dahil olmak üzere tüm tropik kuşağın alçak alanlarında hızla büyüyen en yaygın bitki türlerinden biridir. Nispeten düşük neme sahip orta topraklarda yetişebilir [84]. Moringa oleifera tohumları organik bir doğal polimerdir. Moringa oleifera, çalışmaların bulanık Nil suyunu temizleme yeteneklerini gösterdikten sonra [85] bir pıhtılaştırıcı olarak incelenmiştir [86]. Daha sonra birçok araştırmacı, son 20 yılda Moringa oleifera tohumlarının pıhtılaştırıcı ve pıhtılaştırıcı yardımcısı olarak çeşitli kullanımlarını bildirmiştir. Moringa oleifera pıhtılaştırıcısının yalnızca yüksek bulanıklıktaki su için yüksek pıhtılaştırma aktivitesine sahip olduğu bulunmuştur. Onun bulanık su için aktivitesi düşüktür. Bu nedenle, yüksek pıhtılaştırma aktivitesine sahip biyoaktif bileşenlerini tanımlayarak bu bitkinin özelliklerini geliştirmek önemlidir. Moringa oleifera, alüminyum ve diğer metalik tuzlara alternatif olarak doğal bir pıhtılaştırıcı/flokülant olarak kullanılabilir [87].

Diğer bitki bazlı pıhtılaştırıcılardan Nirmali tohumu, polielektrolitlere sahip doğal bir pıhtılaştırıcı malzemedir. Bu polielektrolitler, Nirmali tohumlarının pıhtılaştırma özelliğinden sorumludur [88]. Genel olarak, literatürdeki çalışmalar Nirmali tohum tozu uygulamasının birincil pıhtılaştırıcılar kadar etkili olduğunu ancak pıhtılaştırıcı yardımcı maddeler olarak kabul edilmesi gerektiğini bildirmiştir [89].

2.3.2. Pıhtılaştırıcı Olarak am Kozalağı Tozu

Son birkaç yılda doğal pıhtılaştırıcılar, bulanık suların arıtılması için araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bu pıhtılaştırıcılar, farklı bitki veya hayvan kaynaklarından ekstrakte edilebilir. Bununla birlikte, bitki kaynaklarından elde edilen doğal pıhtılaştırıcılar, araştırmacılar tarafından daha yaygın olarak incelenmektedir. Bu doğal pıhtılaştırıcılar kullanılarak verimli su rejenerasyon kolaylığı ve çevreye daha az baskı ile etkili bir şekilde arıtılabilir. am ağaaları genellikle Pinus gerardiana olarak anılır ve doğal ve uygun maliyetli pıhtılaştırıcınının hazırlanmasında kullanılabilir. Bu nedenle, bulanık suyun am kozalağı kullanılarak arıtılması daha iyi bir seçenektir.

am kozalaklarından elde edilen pıhtılaştırıcı özü damıtılmış su kullanılarak hazırlanır. Doğal pıhtılaştırıcı ekstraktların pıhtılaşma aktivitesi ile ilgili literatürde çeşitli açıklamalar önerilmiştir. Bazıları, bitki özlerinde bulunan proteinlerin (molekül ağırlığı 13 kDa) pıhtılaşma için aktif bileşenler olduğunu öne sürmüştür. Bazı yazarlar bitki özlerindeki aktif pıhtılaşma bileşenlerinin protein olmadığını, bir tür organik polielektrolit olduğunu iddia etmişlerdir. Katı pıhtılaştırıcılardan elde edilen ekstraktların kimyasal bileşimi, doğal pıhtılaştırıcıların pıhtılaşma aktivitesini açıkça açıklamadığından, doğal pıhtılaştırıcıların pıhtılaşma aktivitesi ancak deneysel sonuçlarla doğrulanabilir.

am kozalaklarının faaliyet gösterdiği mekanizmaya geçilmesi iki şekilde açıklanabilir:

- İlk olarak, am kozalağı tozu, sulu çözeltideki zıt yüklü parçacıkları nötrale eder.
- İkincisi, am kozalağı tozundaki aktif proteinlerin polimerik yapısı, sulu çözeltide dağılmış parçacıkları bağlar.

BÖLÜM 3

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. MATERYAL VE METOT

3.1.1. Pıhtılaştırıcı (Koagulant) Hazırlama

Çam kozalakları, kirlilikleri gidermek için musluk suyuyla yıkandıktan sonra güneş ışığında kurutulur. Daha sonra kozalaklar 50 °C 8 saat süreyle kurutulmak üzere fırında kurutulur. Kurutulmuş kozalaklar, öğütme işlemi için elle doğranır. Kesilen kozalak parçaları saf su ile yıkanır ve 105 °C 10 saat etüvde kurumaya bırakılır. Bu biyokütle halkalı öğütücüde öğütme işlemine tabi tutularak toz haline getirilir. Öğütülmüş malzeme daha sonra elenerek homojen toz parçacıkları elde edilir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi elde edilen tozlar pıhtılaştırıcı olarak kullanılır.



Şekil 3.1. Çam Kozalakları ve Tozu

3.1.2. Atık Su Örneklerinin Alınması

Denemelerde Demir-Çelik Endüstrisi atıksuyu kullanılmıştır. Endüstriyel atık su numunesi elle numune alma yoluyla alınmış ve polietilen (HDPE) kaplar kullanılarak Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilerek denemeler yapılncaya kadar +4 °C’de buzdolabında saklanmıştır. Endüstriyel atıksuyun özelliği çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Endüstriyel (Demir-Çelik Fabrikası) Atık Su Karakteristiği

Endüstriyel Atık Su Parametresi	Birim	Sonuç
pH	-	8
Renk	Pt-Co	865.6
TKM	mg/L	110
KOİ	mg/L	840.24
Amonyak-azot NH ₃ -N	mg/L	42.8
Manganez “Mn”	mg/L	6.27
Demir “Fe”	mg/L	5.30
Çinko “Zn”	mg/L	5.44
Alüminyum “Al”	mg/L	0.38
Nikel “Ni”	mg/L	0.15

3.2. YÖNTEM

3.2.1. Analitik Analiz

Tüm analitik yöntemler, Çizelge 3.2’de belirtildiği gibi, Standart Su ve Atık Su Arıtma Yöntemi’ne göre gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında atıksu numunelerinin pH’ı 1 M H₂SO₄ ve 1 M NaOH çözeltisi kullanılarak ayarlanmıştır.

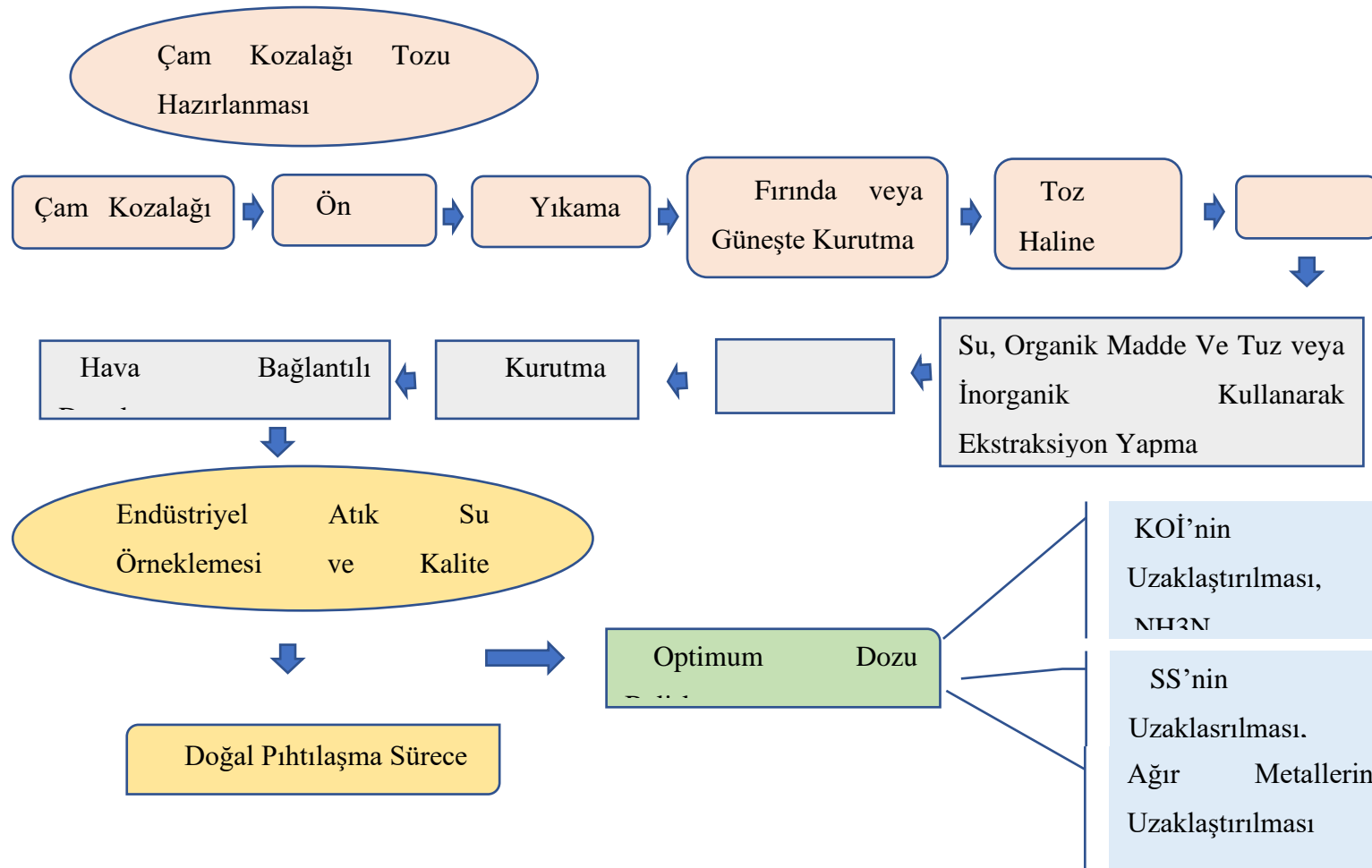
Çizelge 3.2. Karakterizasyon Parametreleri ve Yöntemleri

Parametreler	Yöntem
PH	pH ölçer
Renk (Pt-Co)	SM 2120 C
TSS (mg/L)	SM 2540 D
KOİ (mg/L)	ASTM D1252-A
Amonyum-azotu NH ₃ -N (mg/L)	TS EN ISO 11732
Manganez "Mn" (mg/L)	TS EN ISO 11885
Demir "Fe" (mg/L)	TS EN ISO 11885
Çinko "Zn" (mg/L)	TS EN ISO 11885
Alüminyum "Al" (mg/L)	TS EN ISO 11885
Nikel "Ni" (mg/L)	TS EN ISO 11885

3.2.2. Pıhtılaştırma Deneyleri

Koagülasyon/flokülasyon deneylerinin çalışma koşulları Orbital çalkalayıcı (Tip: PSU-10i, No:010144-1404-0228, Letonya) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pıhtılaştırıcı dozunun etkisi ile ilgili olarak 500 ml beher kullanıldı. Kullanılan operasyonel parametreler literatür taranarak belirlendi. 200 ml'lik numune 500 ml'lik beherlere konuldu ve çalkalayıcının plakasına yerleştirildi. Hızlı karıştırma 15 dakikada 200 rpm, yavaş karıştırma 30 dakikada 90 rpm ve 200 ml numune üzerinde çökeltme süresi 60 dakika olarak tespit edildi. 60 dakikalık sedimentasyondan sonra numuneler, arıtma verimliliğini arttırmak ve daha fazla safsızlıklardan numunenin arınmasını sağlamak için Whatman Marka 592/2 125 mm ashless yuvarlak filtre kağıdından süzülmüştür. Süzülen örnekler KOİ, TAKM, Amonyum-azotu NH₃-N ve ağır metallerin (Demir "Fe", Çinko "Zn", Alüminyum "Al" ve Nikel "Ni", Manganez "Mn") uzaklaştırma verimliliğinin belirlenmesi için Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Merkezi (İSU) laboratuvarına gönderilmiştir. Demir çelik endüstrisi atık sularının orijinal pH'ı 8 civarındadır. Pıhtılaştırma işlemleri sonrası elde edilen süzüntünün karakterizasyonu yapıldı: Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Amonyak-Azot giderimi, Toplam Askıda Katı Madde (TAKM) giderimi, Metal giderimi ve Renk giderimi.

Çam kozalağı için genel deneysel prosedür Şekil 3.1'deki yöntem şemasında sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Deneysel İşlemler

3.2.3. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Tayini

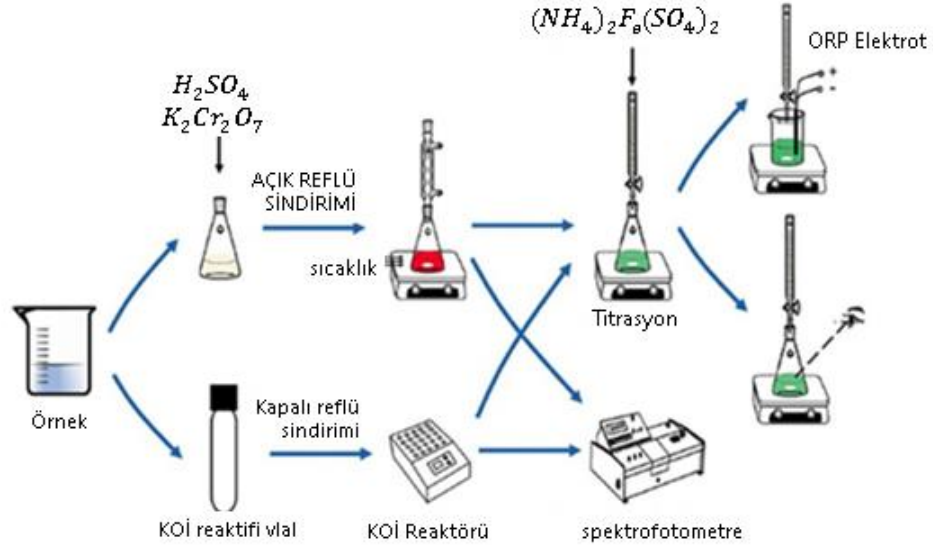
Kimyasal oksijen ihtiyacı, petrol gibi kimyasal organik maddeleri oksitlemek için suda bulunması gereken çözünmüş oksijen miktarıdır. KOİ, atık su atıklarının alıcı suların oksijen seviyeleri üzerindeki kısa vadeli etkisini ölçmek için kullanılır. Arıtılmış atık su çevreye deşarj edildiğinde, alıcı sulara organik içerik şeklinde kirlilik getirebilir. Yüksek atık su KOİ seviyeleri, sudaki çözünmüş oksijeni tüketebilen ve olumsuz çevresel ve düzenleyici sonuçlara yol açan organik konsantrasyonlarını gösterir. Etkiyi belirlemeye yardımcı olmak ve nihayetinde sudaki organik kirlilik miktarını sınırlamak için oksijen ihtiyacı temel bir ölçümdür. Organik maddelerin çoğu, potasyum dikromat ve sülfürik asit üreten karbondioksit ve su karışımı ile kaynatıldığında yok edilir. Bir numune, sülfürik asit ortamında bilinen miktarda potasyum dikromat ile geri akıtılır ve fazla dikromat, demirli amonyum sülfata karşı titre edilir. Tüketilen dikromat miktarı, oksitlenebilir organik maddeyi oksitlemek için gereken oksijenle orantılıdır. Bu yöntem, geri akış sistemi ve titrasyon yoluyla KOİ tayini olarak bilinir, ayrıntılar Ek 1'dedir. Şekil 3.2'de şematik bir gösterimi mevcuttur.

KOİ mg O₂/L olarak ölçülerek, daha sonra

KOİ %, aşağıdaki denklemden ölçülür:

$$KOİ_0 - KOİ_t / KOİ_0 \times 100$$

Burada KOİ₀ – KOİ_t, sırasıyla belirli bir zamanda ilk KOİ ve t zamanındaki KOİ'dir.



Şekil 3.3. COD tespiti için standart dikromat manifoldu

3.2.4. Amonyak-Azotu Giderimi

Amonyak suda oldukça çözünür olan renksiz, keskin bir hidrojen ve nitrojen (bir nitrojen atomu ve üç hidrojen atomu, NH_3) gaz halinde bir bileşiktir. Amonyak, azotlu organik maddenin (hayvan ve bitki proteini) mikrobiyolojik bozunmasının bir ürünü olarak doğal olarak oluşur. Ayrıca gübrelere kullanılmak üzere veya plastik, ilaç ve diğer kimyasalların üretiminde kullanılmak üzere üretilebilir. Mikrobiyolojik süreçlerden dolayı yeraltı sularındaki amonyak normaldir. Bununla birlikte, yüzey sularında amonyak azotunun varlığı genellikle evsel kirliliğe işaret eder. Aşırı amonyak bitki örtüsüne zarar verebilir ve özellikle yüksek pH ve sıcaklık seviyelerinde sudaki yaşam için inanılmaz derecede toksiktir. Amonyak, su ve atık su arıtmanın çeşitli alanlarında hem reaktif hem de ölçüm parametresi olarak kullanılır.

- Kaynak suyunda doğal olarak oluşan amonyak izlenir.
- Kloramin dezenfeksiyon işlemi sırasında içme suyunu arıtmak ve dağıtım sistemlerinde daha uzun süre kalıcı bir kalıntı sağlamak için amonyak klor ile birleştirilir.
- Bazen ilaç endüstrisinde olduğu gibi pH kontrolü için amonyak kullanılır.
- Amonyak, atık su nitrifikasyonu ve denitrifikasyon süreçlerinde yaygın olarak izlenir.

Düşük konsantrasyonlarda genellikle zararsız olsa da yüksek konsantrasyonlarda amonyak hasara neden olabilir ve sağlık riskleri oluşturabilir. Bu nedenle, amonyak seviyeleri uygun şekilde izlenmeli ve korunmalıdır.

Kullanılan test yöntemi, Ek 2’de detaylandırıldığı gibi akış analizi ve spektrometrik algılama yoluyla amonyum azotunun belirlenmesi olarak adlandırılır. Şekil 3.3’te temsili bir aparat gösterilmektedir.

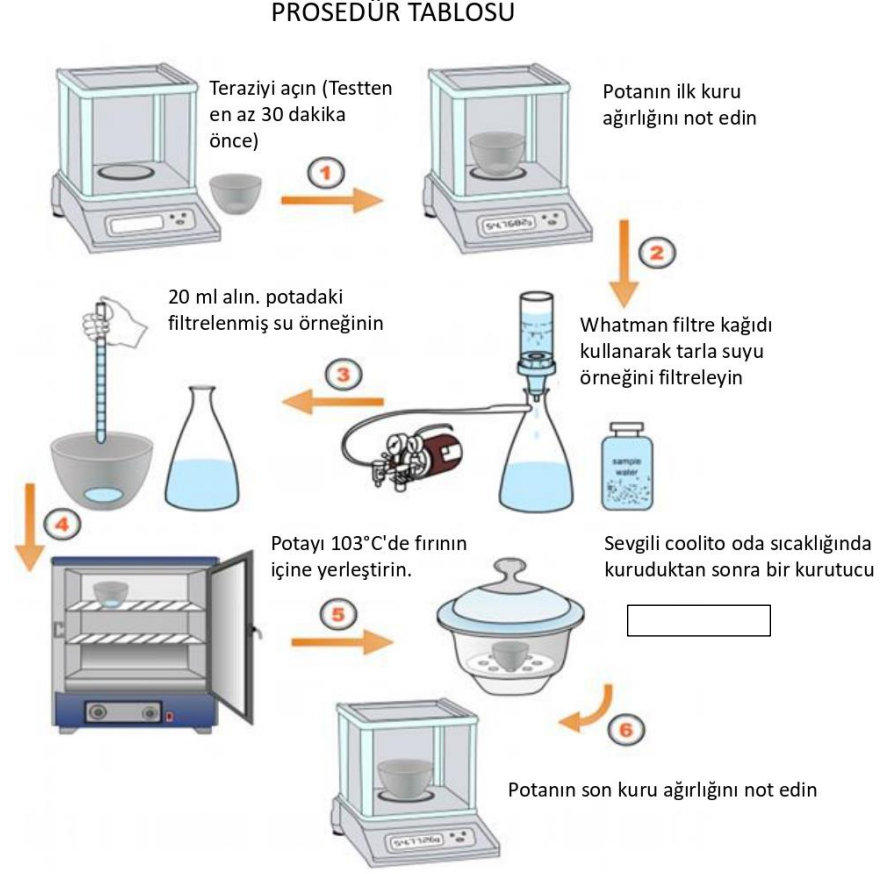


Şekil 3.4. Amonyum nitrojen tayini

3.2.5. Toplam Askıda Kati Madde (Tkm) Giderimi

Toplam askıda katı madde için belirli bir kimyasal formül yoktur. Basitçe söylemek gerekirse TKM, numunenin belirli bir gözenek boyutu filtresi aracılığıyla filtrelenmesiyle yakalanan herhangi bir şeydir. Askıda katı maddeler, silt veya tortu parçacıklarından yaprak veya gövde gibi bitki materyali parçalarına kadar değişebilir. Böcek larvaları ve yumurtaları bile TKM’nin genel kategorisine girebilir. Yüksek miktarda TKM, bir su kütesinin estetik açıdan hoş olmayan bir görünümüne yol açabilir. Suyun rengi veya genel bulanıklığı olumsuz etkilenecektir. Ölçülen bir hacim (1 L’den fazla olmayan) numune hazırlanmış, yeniden tartılmış bir filtre kağıdından geçirilir. Filtre $104 \pm 1^\circ\text{C}$ ’de kurutulur. Kuruduktan sonra filtre yeniden tartılır ve

AKM hesaplanır. Analiz prosedürü Ek 3'te açıklanmıştır ve adımlar şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Toplam Askıda Katı Madde Tayini

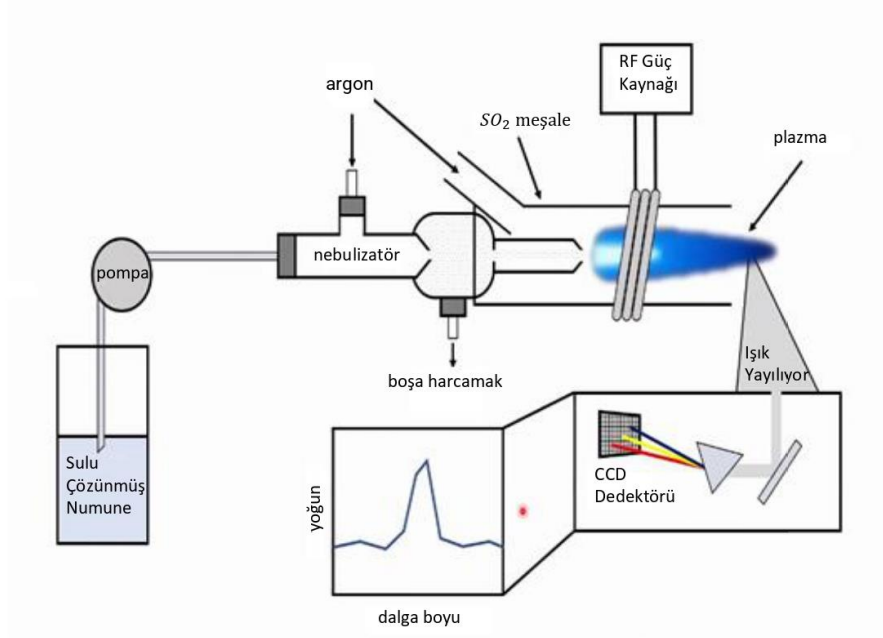
3.2.6. Ağır Metal Giderimi

Sanayileşme ve endüstriyel üretimin olumsuz bir sonucu çevremizi kirleten toksik atık ürünlerin üretilmesi ve salınmasıdır. Birçok eser ve ağır metal (Cd, Pb, Mn, Cu, Zn, Cr, Fe ve Ni) ve bunların bileşiklerinin toksik olduğu bulunmuştur. Birçoğu metalurji, tabakhaneler, petrol arıtma, elektrokaplama, tekstil ve pigmentler dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel faaliyetlerde kullanılmaktadır. Çevredeki varlıkları hayvanlarda, bitkilerde ve insanlarda çeşitli sağlık sorunlarından sorumlu olmuştur. Atık suların doğrudan doğal sulara deşarj edilmesi su ekosistemi için büyük bir risk teşkil ederken, kanalizasyon sistemine doğrudan deşarjı olumsuz etkileyebilir. Atık suyun eser ve ağır

metal kontaminasyonu için analizi, insan ve çevre sağlığının sağlanmasında önemli bir adımdır. Atık su, farklı ülkelerde farklı şekilde düzenlenir, ancak amaç, doğal su yollarına verilen kirliliği en aza indirmektir. Son yıllarda mevzuat, gelişmiş temizleme teknolojisi ve değişen endüstriyel faaliyetler nedeniyle birçok ülkede metal üretim emisyonları azalmıştır.

$$\% \text{ Giderim Verimliliği} = [(C_i - C_f)/C_i] \times 100$$

Burada C_i ve C_f sırasıyla kirleticinin başlangıç ve son değerleridir. Bu belirleme analizi Ek 4'te listelenmiştir. Şekil 3.5'te şematik bir gösterim gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Metal Analizi İçin Şematik Bir Temsil

3.2.7. Renk Giderme

Pıhtılaşan özelliklerden biri atık suyun bulanıklığını/rengini giderme yeteneğidir. Renk çıkarma yüzdesi, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bir spektrofotometre kullanılarak absorbans değerinden hesaplanır. Analitik prosedür Ek 5'te açıklanmaktadır.



Şekil 3.7. Renk Testi İçin Kullanılan Spektrofotometre

3.2.8. Çam Kozalağı Tozu Karakterizasyonu

3.2.8.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleme

Taramalı elektron mikroskobu veya SEM yüksek çözünürlüklü bir görüntü oluşturmak için yüzeyini tarayarak bir nesnenin ayrıntılı ve büyütülmüş görüntülerini üretir. SEM bunu odaklanmış bir elektron demeti kullanarak yapar. Ortaya çıkan görüntüler, nesnenin neyden yapıldığı ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi gösterir. Kompozisyon ve topografya ile ilgili bu bilgileri elde eden alet ise taramalı elektron mikroskobudur. Pratik ve kullanışlı bir araç olarak SEM çeşitli endüstriler ve sektörlerde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Hem insan yapımı hem de doğal olarak oluşan malzemeleri analiz edebilir. Taramalı elektron mikroskobu, bir numuneyi elektron ışınlarıyla tarayarak çalışır. Bir elektron tabancası bu ışınları ateşler ve ardından taramalı elektron mikroskobunun sütununu hızlandırır. Bu eylem sırasında, elektron ışınları, onu odaklamak için hareket eden bir dizi mercekle ve açıklıktan geçer. Bu, mikroskop kolonunda zaten mevcut olan moleküllerin veya atomların elektron ışını ile etkileşime girmesini önleyen vakum koşulları altında gerçekleşir. Bu yüksek kalitede

bir görüntüleme sağlar. Vakum ayrıca elektron kaynağını titreşimlerden ve gürültüden korur. Elektron ışınları, numuneyi raster bir düzende tarar, yüzey alanını bir taraftan diğer tarafa, yukarıdan aşağıya doğru çizgiler halinde tarar. Elektronlar, numunenin yüzeyindeki atomlarla etkileşime girer. Bu etkileşim, örneğin özelliği olan ikincil elektronlar, geri saçılan elektronlar ve ışınlar şeklinde sinyaller oluşturur. Mikroskoptaki dedektörler bu sinyalleri alır ve bir bilgisayar ekranında görüntülenen yüksek çözünürlüklü görüntüler oluşturur. Şekil 3.7 bir taramalı elektron mikroskobunu göstermektedir.



Şekil 3.8. Taramalı Elektron Mikroskobu

3.8.2. Fourier Dönüşümü Kızılötesi (FTIR) Analizi

IR radyasyonu bir numuneden geçirildiğinde, radyasyonun bir kısmı numune tarafından emilir ve bir kısmı da içinden geçer (iletilir). Dedektörde ortaya çıkan sinyal, numunenin moleküler bir “parmak izini” temsil eden bir spektrumdur. Kızılötesi spektroskopinin faydası, farklı kimyasal yapıların (moleküller) farklı spektral parmak izleri üretmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.8 bir FTIR Spektroskopunu göstermektedir.



Şekil 3.9. FTIR Spektroskopu

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, özellikle KOİ, TKM, Amonyak-azot NH₃-N ve ağır metallerin giderilmesi açısından demir ve çelik fabrikası atık su arıtımında doğal bir pıhtılaştırıcı olarak çam kozalağı tozunun etkinliğini değerlendirmektir. Daha spesifik olarak amaç, sırasıyla kimyasal yapıyı, termal stabiliteyi ve morfolojiyi aydınlatmak için en uygun pıhtılaştırıcı dozunu, Fourier transform kızılötesi spektroskopisini (FTIR) ve taramalı elektron mikroskopunu (SEM) belirlemektir. Çalışmanın amacı pH'ın uzaklaştırma verimliliği üzerindeki etkisini incelemek ve çam kozalağı tozunu kullanarak karakterize etmektir. Bu deneysel çalışma, Endüstriyel Atıksulardan Demir Çelik Endüstrisi atıksuyunda pıhtılaşma/flokülasyon işleminin etkinliğini araştırmak için yapılmıştır. Atıksu arıtmada çam kozalağı pıhtılaştırıcı etkinliğini karakterize etmek için iki temel parametreyi belirlemek için ön deneyler yapılmıştır. Optimum pıhtılaştırıcı konsantrasyonu ve bu özel pıhtılaştırıcı konsantrasyonunda Optimum pH, sonuçları Ek 6'da gösterilmektedir.

4.1. OPTİMUM PIHTILAŞTIRICI KONSANTRASYONUNUN TAYİNİ

Mümkün olan en iyi giderim verimini elde etmek için gereken en iyi konsantrasyonu bulmak için farklı konsantrasyonlar kullanılarak (1, 3, 5, 7 ve 10 g/l) aşağıdaki parametreler ölçülmüştür: % KOİ, % Renk giderimi, %TKM giderimi, % Amonyum-azotu giderimi, % Metal giderimi.

Çizelge 4.1. Optimum pıhtılaştırıcı konsantrasyonunun tayini

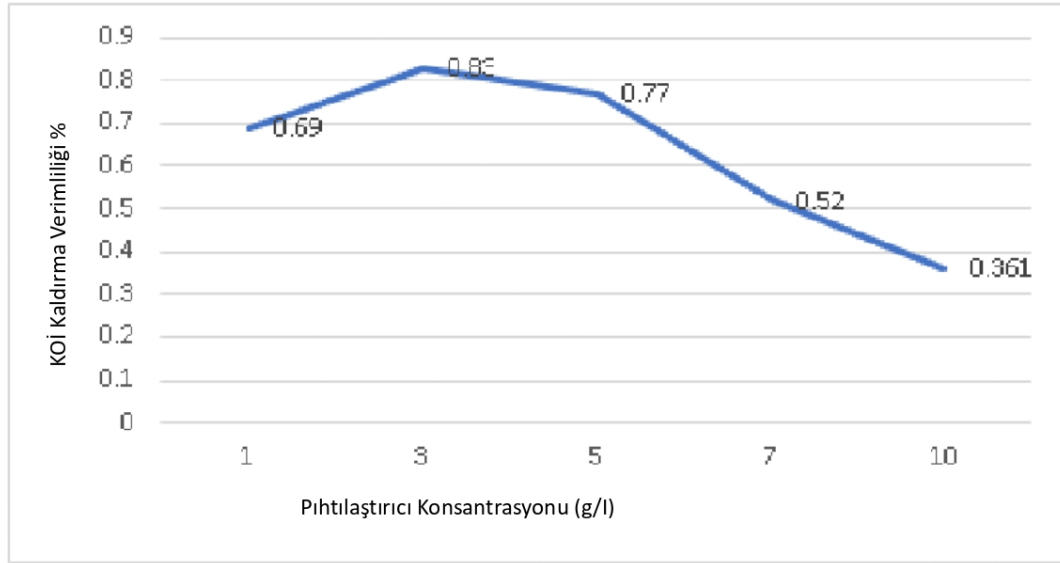
Doz g/L	KOİ, (%)	Renk, (%)	TKM, (%)	Amonyum-azotu NH ₃ -N, (%)	Mn, (%)	Fe, (%)	Cu, (%)	Zn, (%)	AL, (%)	Ni, (%)
1	69.3	74.8	99.0	79.0	86.4	93.4	0.0	89.3	73.7	83.3
3	83.3	83.5	99.0%	83.9	86.8	94.0	0.0	89.7	73.7	86.7
5	77.3	61.5	99.0%	79.0	86.4	93.0	0.0	89.4	71.1	82.0
7	52.8	62.7	99.0%	84.4	85.7	94.0	0.0	88.4	68.4	80.0
10	36.1	69.3	99.0%	82.8	82.8	93.6	0.0	87.7	59.0	73.3

4.1.1. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi

1-10 g/l'lik çam kozalağı konsantrasyonları, kimyasal oksijen ihtiyacının giderilmesinde en iyi konsantrasyonu araştırmak için kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.1'de tablolatırılmıştır.

Çizelge 4.2. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi

Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonu (g/l)	% KOİ Giderim Verimliliği
1	0.6933
3	0.8333
5	0.7330
7	0.5278
10	0.3611



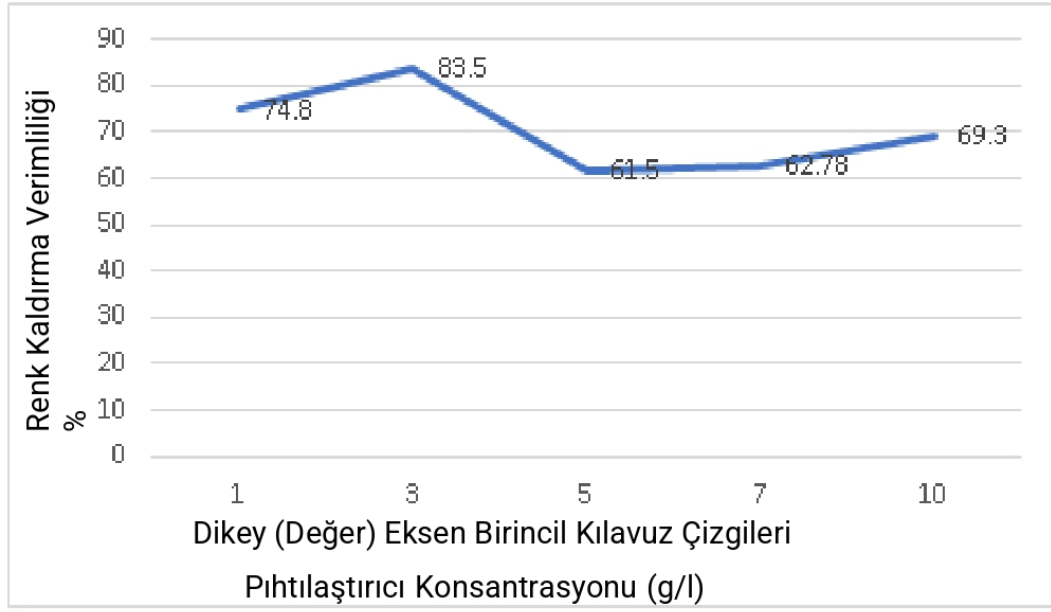
Şekil 4.1. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi

4.1.2. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Renk Giderimi Üzerindeki Etkisi

Renk gidermede en iyi pıhtılaştırıcı konsantrasyonu belirlemek için 1-10 g/l'lik çam kozalağı konsantrasyonları kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Renk Giderme Üzerindeki Etkisi

Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonu (g/l)	Renk Giderimi %
1	74.8
3	83.5
5	61.5
7	62.78
10	69.3



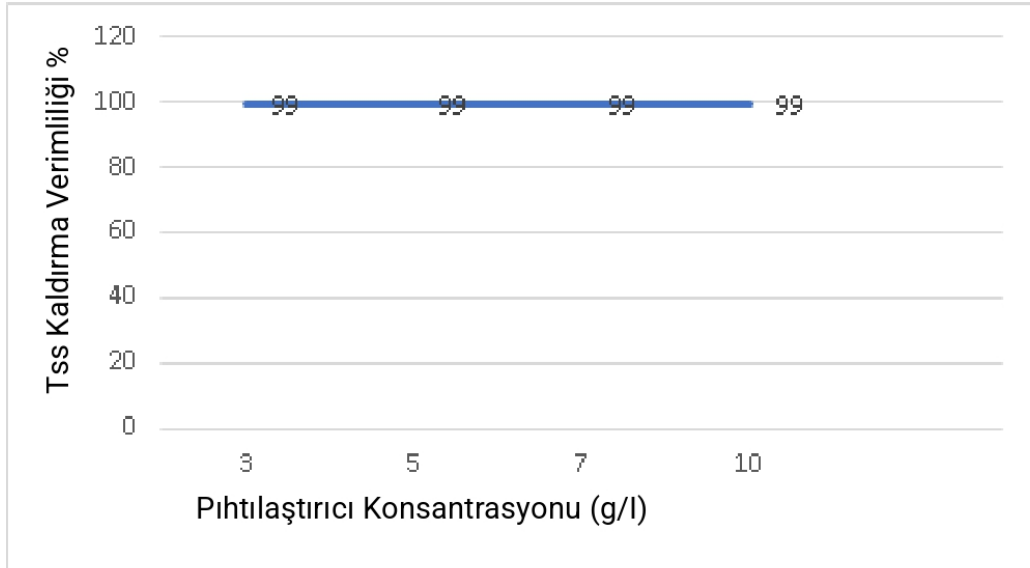
Şekil 4.2. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Renk Giderme Üzerindeki Etkisi

4.1.3. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Toplam Askıda Katı Maddelerin (TAKM) Uzaklaştırılması Üzerindeki Etkisi

Toplam katıların uzaklaştırılmasında en iyi konsantrasyonun belirlenmesi için 1-10 g/l'lik çam kozalağı konsantrasyonları kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Toplam Üzerindeki Etkisi Askıda Katı Madde (TAKM) Giderme

Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonu (g/l)	TAKM kaldırma yüzdesi
1	99.00
3	99.00
5	99.00
7	99.00
10	99.00



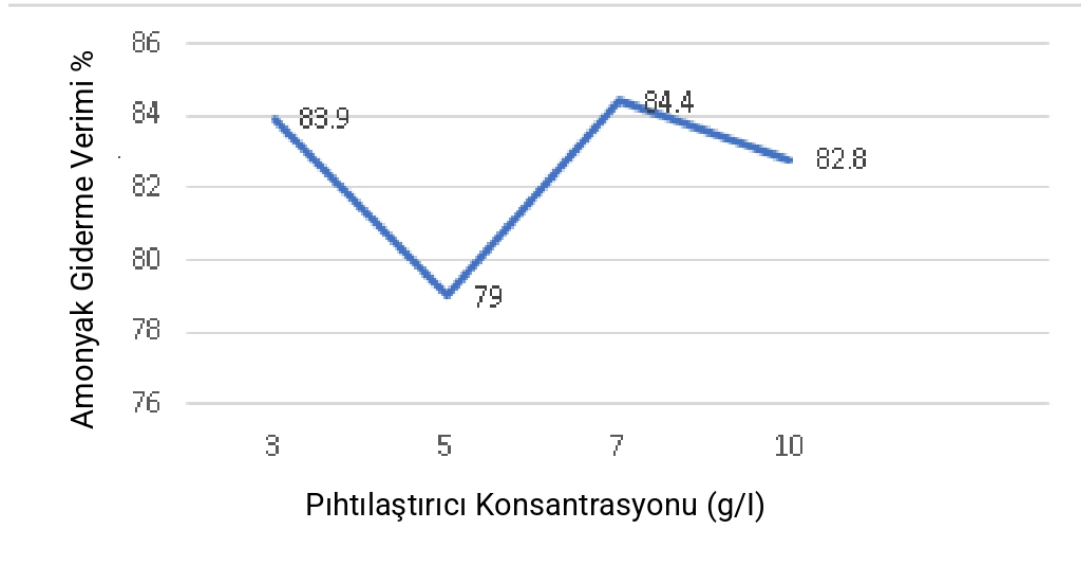
Şekil 4.3. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun TAKM Giderimi Üzerindeki Etkisi

4.1.4. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Amonyak Giderimi Üzerindeki Etkisi

Toplam katıların uzaklaştırılmasında en iyi konsantrasyonun belirlenmesi için, 1-10 g/l'lik çam kozalağı konsantrasyonları kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Toplam Amonyum Azotu Giderme Üzerindeki Etkisi

Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonu (g/l)	Amonyak Giderme %
1	79.00
3	83.90
5	79.00
7	84.40
10	82.80



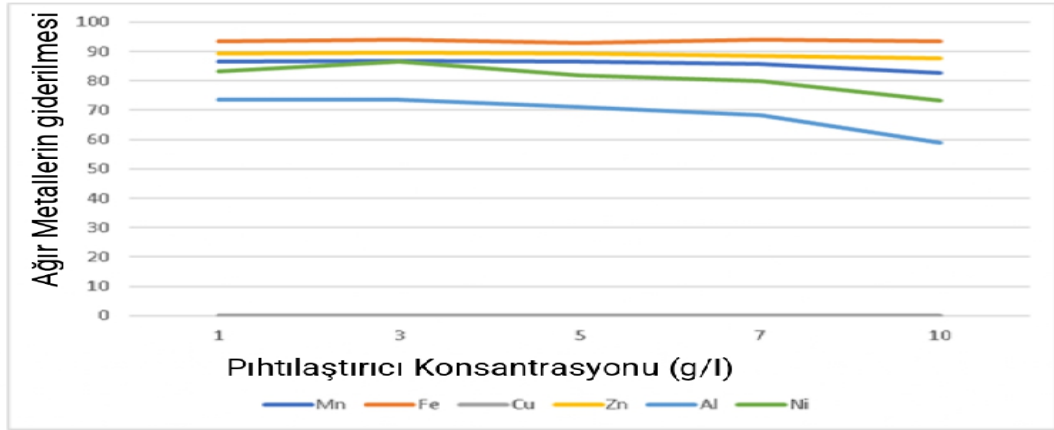
Şekil 4.4. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Amonyum Azotu Giderimi Üzerindeki Etkisi

4.1.5. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Ağır Metallerin Uzaklaştırılması Üzerindeki Etkisi

1-10 g/l'lik çam kozalağı konsantrasyonları, ağır metallerin (Fe, Cu, Zn, Al, Ni) uzaklaştırılmasında en iyi konsantrasyonu belirlemek içindir. Sonuçlar çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.6. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Ağır Metallerin Uzaklaştırılması Üzerindeki Etkisi

Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonu (g/l)	Ağır Metal Giderimi %					
	Mn	Fe	Cu	Zn	Al	Ni
1	86.44	93.40	0.00	89.34	73.68	83.33
3	86.76	93.96	0.00	89.71	73.68	86.67
5	86.44	93.02	0.00	89.42	71.05	82.00
7	85.65	93.96	0.00	88.42	68.42	80.00
10	82.75	93.58	0.00	87.71	59.00	73.33



Şekil 4.5. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Ağır Metallerin Uzaklaştırılması Üzerindeki Etkisi

Bu sonuçlardan optimum pıhtılaştırıcı konsantrasyonu 3 g/l olmuştur.

4.2. OPTİMUM PIHTILAŞTIRICI KONSANTRASYONUNDA OPTİMUM pH'nın BELİRLENMESİ

Mümkün olan en iyi giderimi sağlamak için gerekli pH'ı belirlemek için 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 farklı pH değerlerinde 3g/l konsantrasyonlu pıhtılaştırıcı numuneler kullanıldı ve aşağıdaki parametreler ölçüldü: % KOİ, % Renk giderimi, % TAKM giderimi, % amonyum-azotu giderimi, % metal giderimi.

Çizelge 4.7. Optimum (3 g/l) Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunda Optimum pH Tayini

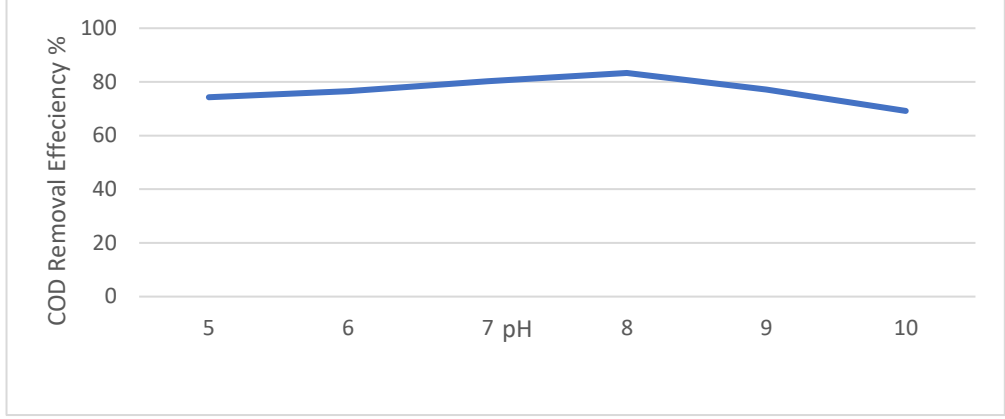
pH	KOİ (%)	Renk (%)	TSS (%)	Amonyak-azot NH3-N (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)	Al (%)	Ni %
5	74.24	88.13	99.00	63.98	73.18	82.45	0.00	65.07	57.89	53.33
6	76.52	96.86	99.00	71.25%	80.36	86.79	0.00	72.28	62.29	61.13
7	80.24	83.33	99.00	79.68%	81.76	90.75	0.00	83.93	67.52	75.83
8	83.33	84.00	99.00	83.89%	86.76	93.96	0.00	89.71	73.68	86.67
9	77.18	65.73	99.00	79.17%	82.71	92.96	0.00	84.85	67.89	83.33
10	69.18	55.37	99.00	72.39%	78.98	90.26	0.00	77.93	60.27	70.23

4.2.1. pH'ın KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi

Kimyasal oksijen ihtiyacının giderilmesinde optimum pH'I belirlemek için 5-10 arasındaki pH konsantrasyonları kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.6'da tablolandırıldı.

Çizelge 4.8. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi

pH	KOİ % Kaldırma Verimliliği
5	74.24
6	76.52
7	80.24
8	83.33
9	77.18
10	69.18



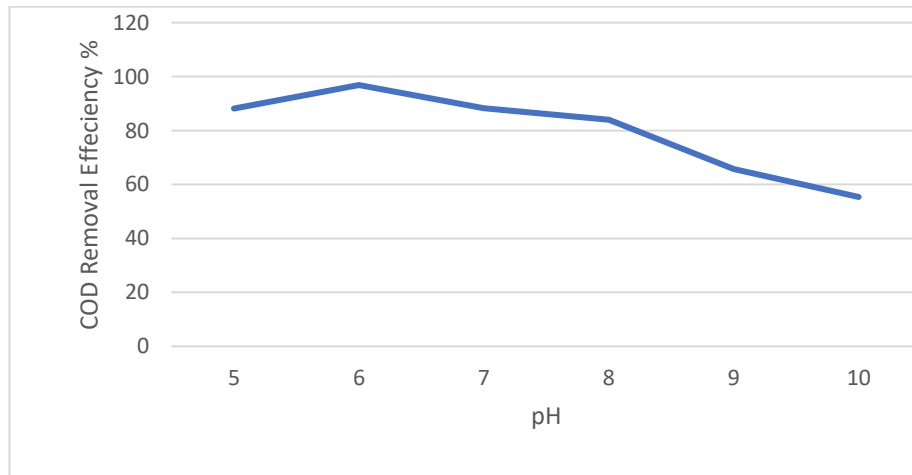
Şekil 4.6. pH'ın KOİ Giderimi Üzerindeki Etkisi

4.2.2. pH'ın Renk Kaldırma Üzerindeki Etkisi

Renk gidermede en iyi pH'ı araştırmak için 5-10 pH konsantrasyonları kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. pH'ın Renk Giderme Üzerindeki Etkisi

Ph	Renk Giderme Verimliliği %
5	88.13
6	96.86
7	83.33
8	84.00
9	65.73
10	55.37



Şekil 4.7. pH'nın Renk Giderme Üzerindeki Etkisi

4.2.3. pH'ın Toplam Askıda Katı Madde (TAKM) Giderimi Üzerindeki Etkisi

Renk gidermede en iyi pH'ı belirlemek için 5-10 pH konsantrasyonları kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. pH'ın Toplam Askıda Katı Madde (TSS) Giderimi Üzerindeki Etkisi

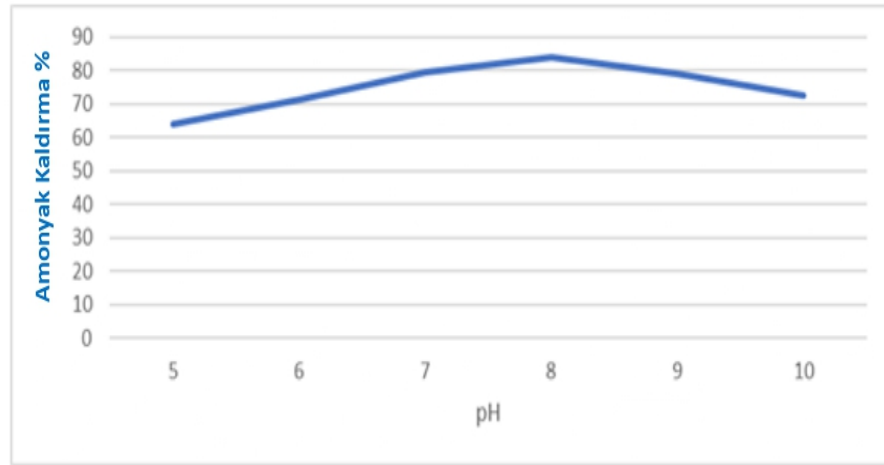
pH	TSS Kaldırma %
5	99.00
6	99.00
7	99.00
8	99.00
9	99.00
10	99.00

4.2.4. pH'ın Amonyak Giderimi Üzerindeki Etkisi

Amonyum azotu giderimi üzerindeki en iyi pH'ı araştırmak için 5-10 pH konsantrasyonları kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.9'da görülmektedir.

Çizelge 4.11. pH'ın Amonyak Giderimi Üzerindeki Etkisi

pH	Amonyak Giderme %
5	63.98
6	71.25
7	97.68
8	83.89
9	79.17
10	72.39



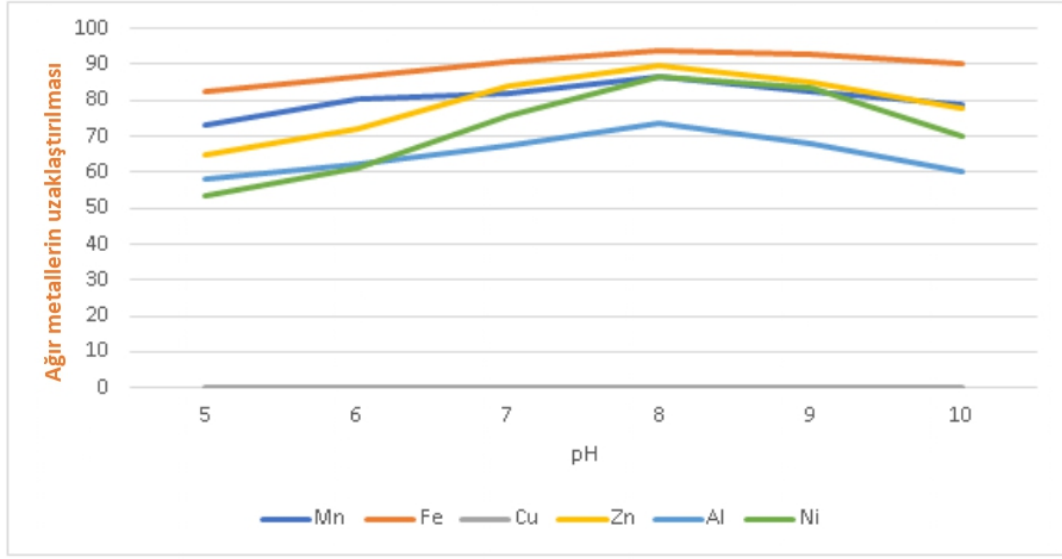
Şekil 4.8. pH'in Amonyak Giderimi Üzerindeki Etkisi

4.2.5. pH'in Ağır Metallerin Uzaklaştırılmasına Etkisi

5-10 pH konsantrasyonları, ağır metallerin (Fe, Cu, Zn, Al, Ni) uzaklaştırılmasında en iyi konsantrasyonu belirlemek için kullanılmıştır. Sonuçlar çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.12. Pıhtılaştırıcı Konsantrasyonunun Toplam Ağır Metal Giderimi Üzerindeki Etkisi

pH	Ağır Metallerin Uzaklaştırılması %					
	Mn	Fe	Cu	Zn	Al	Ni
5	73.18	82.45	0.00	65.07	57.89	53.33
6	80.36	86.79	0.00	72.28	62.29	61.13
7	81.76	90.75	0.00	83.93	67.52	75.83
8	86.76	93.96	0.00	89.71	73.68	86.67
9	82.71	92.96	0.00	84.85	67.89	83.33
10	78.98	90.26	0.00	77.93	60.27	70.23



Şekil 4.9. pH'ın Ağır Metal Giderimi Üzerindeki Etkisi

4.3. TARTIŞMA VE KANI

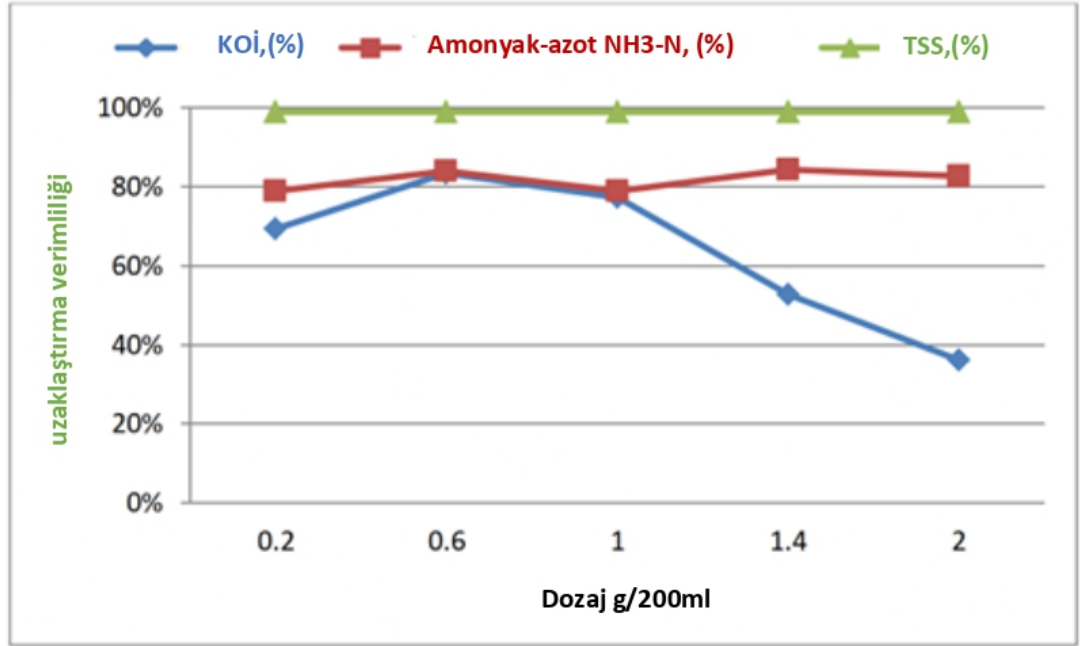
4.3.1. Çam Kozalağı Tozu Dozunun Etkisi

Endüstriyel atık su pH'ı, şekil 2'de gösterildiği gibi çam kozalakları pıhtılaştırıcı dozunun etkisini test etmek amacıyla doğal pH 8'e ayarlanmıştır. Çeşitli pıhtılaştırıcı dozları (0.2, 0.6, 1, 1.4 ve 2 g /200ml) atık su numunesi beherine karıştırılmıştır. Süspansiyon yavaşça karıştırılmış ve sonra çökmeye bırakılmıştır. Pıhtılaştırıcı dozlarının demir çelik endüstrisi atık sularından KOİ, TAKM, Amonyum-Azot NH_3-N ve ağır metallerin (Manganez "Mn", Demir "Fe", Çinko "Zn", Alüminyum "Al" ve Nikel "Ni") yeterli arıtmı üzerine etkisi için

4.3.1.1. Dozajın KOİ, TSS ve Amonyak-Azot NH_3-N Uzaklaştırma Verimliliği Üzerindeki Etkileri

Pıhtılaştırıcı dozunun etkinliğini araştırmak için, 0,2 ila 2 g arasında değişen çam kozalakları tozu dozları ve 200 ml demir ve çelik endüstrisi atık su ile karıştırılarak ve Bölüm 3'te belirtilen koşullar altında bir orbital çalkalayıcı kullanılarak karıştırılarak bir dizi deney yapılmıştır. Pıhtılaştırıcının kütlesi nedeniyle yüzey yükünün pıhtılaşma performansı üzerinde önemli bir etkisi olabilir [90].

Pıhtılaştırıcı dozajının ekonomik optimizasyonu ve ölçek büyütme için en çok ihtiyaç duyulan pıhtılaştırıcı kütlesinin yanı sıra büyük ölçekli ekipmanın tasarımı gereklidir. Sonuç olarak, çam kozalakları tozu dozunun KOİ ve Amonyum-azotu NH₃-N giderimi üzerindeki etkisi orijinal demir ve çelik endüstriyel atık su Ph'ı 8'de incelenmiş ve bulgular Şekil 4.1, 4.3, 4.4'te gösterilmiştir. Genel olarak değerler aşağıdaki şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Çam Kozalakları Toz Dozunun KOİ, TSS ve NH₃-N Giderimi Üzerindeki Etkileri (pH: 8)

Çam kozalakları tozu pıhtılaştırıcı olarak 0,6 g/200ml'lik dozda pıhtılaştırıcı olarak optimal etkinliğini göstermiştir. KOİ için en yüksek verim giderme, Şekil 4.11'de gösterildiği gibi %83.33'tür.

Şekil 4.11, çam kozalağı tozu dozajını (2 g/200ml'ye kadar) artırarak KOİ giderimindeki azalmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Bunun nedeni, doğal pıhtılaştırıcının yüzeyini kaplayarak kolloidal partikül köprüsü için erişilebilir adsorpsiyon parçalarının miktarını sınırlayan pıhtılaştırıcının aşırı yüklenmesidir [90.91].

Toplu testin sonucu, Şekil 4'te çam kozalağı tozu pıhtılaştırıcı dozajının Amonyak-azot $\text{NH}_3\text{-N}$ gideriminin verimliliği üzerindeki etkisini göstermektedir. Bununla birlikte, maksimum iki arıtma etkinliği, 83.93 ve % 84.35 ile 0.6 ve 1.4g / 200ml dozajında bulunmuştur. Ekonomik açıdan bakıldığında ve prosesten üretilen çamurun azaltılması için optimum dozaj, her iki dozaj arasında uzaklaştırma verimliliğinde önemli bir fark olmadığı için 0,6 g / 200 ml olabilir. Ayrıca, artan doz 0.6g / 200ml'den daha büyük olduğundan bu çalışmada anlamlı bir sonuç bulunamamıştır. Öte yandan çalışmalar boyunca pH 5-10 arasında değiştiğinde TAKM giderme etkinliğinin %99'da tutarlı olduğunu gösterilmiştir. Nötr elektrik yükü nedeniyle partiküller 7 ile 9 arasında değişen pH seviyelerinde güçlü bir pıhtılaşma kapasitesine sahiptir [92].

Bu da partiküllerin KOİ ve Amonyum-azotu $\text{NH}_3\text{-N}$ için adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olacağı anlamına gelmektedir. Çam kozalağı tozunun doğal polifenollerinin organikleri ve metal iyonlarını adsorbe etme kabiliyeti organik kontaminasyonun giderilmesini iyileştirmiştir [93].

Organik ve amonyak giderimindeki gelişme, karboksilik, fenolik ve amino grupları tarafından üretilen elektrikli çift tabakaların etkisine bağlanabilir [94].

Daha yüksek dozlarda çam kozalağı tozu (>0.2 g) kullanıldığında hedef parametrelerin uzaklaştırma etkinliği azalmaktadır. Çam kozalağı tozundaki pozitif yüklü birincil amino grupları atık sudaki partiküllerin ve kolloidlerin köprüleme mekanizmasını arttırmış ve bu da flokülasyona yardımcı olmuştur [95].

Çam kozalağı tozu yüksek moleküler ağırlığa sahiptir ve atık suda hidrolize edilmemiştir. Daha yüksek dozda çam kozalağı tozu önemli miktarda tozun hızla çökmesine neden olur ve bu da flokülasyon etkinliğini sınırlayabilir [96].

4.3.1.2. Dozajın Ağır Metal Uzaklaştırma Yüzdesine Etkisi (Mn, Fe, Zn, Al ve Ni)

Şekil 4.5'te demir ve çelik endüstrisi atık sularındaki ağır metaller (Mn, Fe, Zn, Al ve Ni) için en uygun çam kozalağı dozajının koagülasyon flokülasyon deneylerinde en

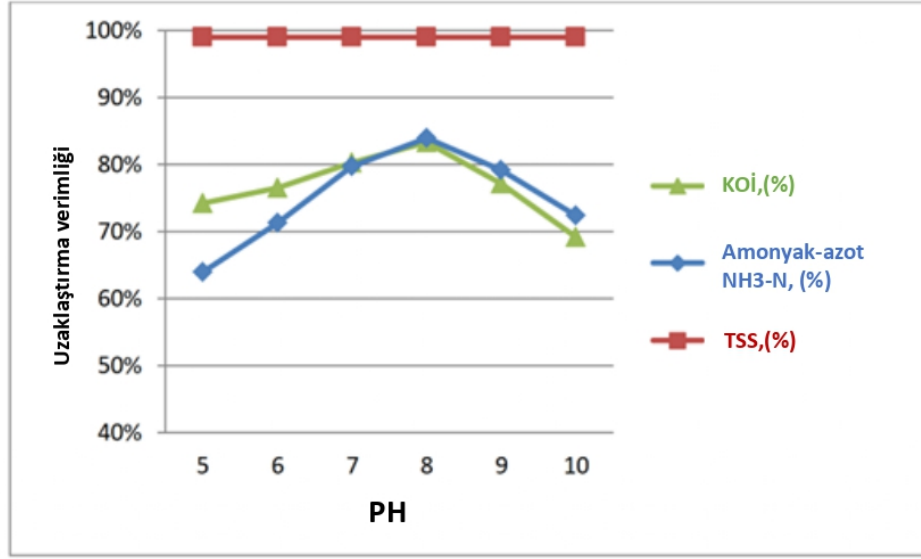
yüksek uzaklaştırma verimi ile 0.6g/200ml dozda çam kozalağı tozunda elde edildiğini göstermektedir. Mn, Fe, Zn, Al ve Ni için sırasıyla %86,76, %93,96, %89,71, %73,68 ve %86,67 olarak tespit edilmiştir.

4.3.2. Endüstriyel Atık Su Arıtımında pH Değişiminin Etkisi

Atık suyun pH'ı 5'ten 10'a ayarlanmış ve pıhtılaşma testi, tablo 3.1'de gösterildiği gibi endüstriyel numunenin başlangıç karakteristiği ve 1g/200ml'lik bir pıhtılaştırıcı dozu ile oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin pH'ını değiştirmek için 3 M H₂SO₄/NaOH çözeltisi kullanılmıştır.

4.3.2.1. pH'ın KOİ, Amonyak-azot NH₃-N Uzaklaştırma Verimliliği Üzerindeki Etkileri

0.6g/200ml çam kozalağı tozu kullanılarak pH (4-10)'un KOİ ve NH₃-N giderimi üzerindeki etkileri Şekil 6'da gösterilmektedir. N kaldırma COD ve NH₃-N'nin uzaklaştırılması, pH yükseldikçe maksimum değere ulaşılan kadar kademeli olarak artmıştır. pH, optimalin biraz üzerine yükseldikçe KOİ ve NH₃-N'nin uzaklaştırılma yüzdesi azalmıştır. Çalışmalar sırasında, beherlerdeki numuneler, çam kozalağı tozu kullanılarak herhangi bir ek pıhtılaşma prosedüründen önce uygun pH'a ayarlanmıştır. pH 8'de, Şekil 4.6, 4.8 ve 4.9'da gösterildiği gibi maksimum KOİ ve NH₃-N giderme verimleri sırasıyla %83.33 ve 83.89 olarak ölçülmüştür. Genel olarak şekil 4.12'de giderme verimliliği 5'ten 10'a yükselmekte ve sonra düşmektedir.



Şekil 4.11. pH'ın KOİ, TSS ve Amonyak-azot NH₃-N Giderimi Üzerindeki Etkileri

Çam kozalağı tozunun organik yapısı eklendikten sonra endüstriyel atık suyun pH'ının değişmeden kalmasını sağlamıştır. Sonuç olarak, koagülan olarak çam kozalağı tozu kullanıldığında muamele prosedürü boyunca KOİ ayarlaması gerekmedi. Nötr elektrik yükleri nedeniyle partiküller 7 ile 9 arasında değişen KOİ değerlerinde iyi bir pıhtılaşma kapasitesine sahiptir [92].

Çam kozalağı parçacıkları ile etkileşime girerek atık sudaki katyonlar, pıhtılaştırıcı fonksiyonel grup kalıntısının negatif yüklerini nötralize ederek ve azaltarak pıhtılaşmayı artırabilir [97].

Atık suya Mg²⁺, Ca²⁺, Na⁺ ve Fe²⁺ gibi tek değerli ve çok değerli katyonların eklenmesi flokülasyon aktivitesini arttırmıştır. Bu bulgular Ca²⁺, Mn²⁺ ve Al³⁺ gibi çok değerlikli katyonların flokülasyon aktivitesini arttırdığını bulan [98, 99, 100]'ün bulgularıyla uyumludur. [100,101] Ca²⁺, Mg²⁺ ve Mn²⁺ varlığının flokülasyon aktivitesini arttırdığını ortaya koymuştur.

4.3.2.2. pH'ın Ağır Metal (Mn, Fe, Zn, Al ve Ni) Uzaklaştırma Verimliliği Üzerindeki Etkileri

Daha sonra en iyi pH aralığını bulmak için çam kozalağı tozunun (0.6 g/L) optimal dozajı kullanılarak çeşitli pH seviyelerinde deneyler yapıldı. Optimum pH'ın 8 olduğu ve pıhtılaştırıcının kullanılmasının daha iyi uzaklaştırma ile sonuçlandığı keşfedildi. Çam kozalağı taşı tozu ile Mn, Fe, Zn, Al ve Ni indirgemeleri pH 8'de sırasıyla 86.76, 93.96, 89.71, 73.68 ve %86.67'dir (Şekil 10) Çam kozalağı tozunun organik yapısı daha sonra endüstriyel atık suyun pH'ını korumuştur. Sonuç olarak, koagülan olarak çam kozalağı tozu kullanıldığında muamele prosedürü boyunca pH ayarlaması gerekmemiştir.

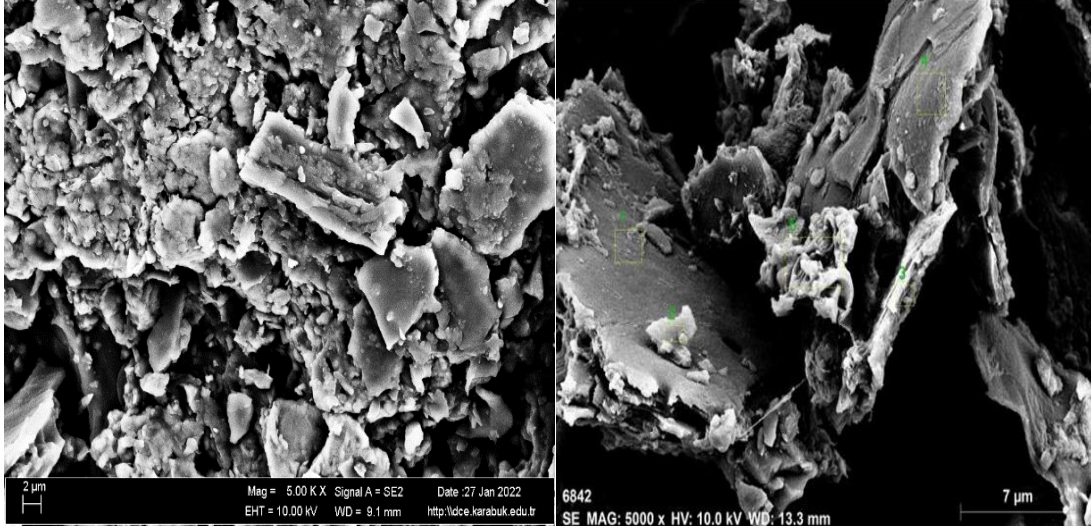
Bu konuda yapılan diğer çalışmalara baktığımızda, atıksuların arıtılmasında birincil pıhtılaştırıcı olarak kuru Moringa oleifera tohumlarının ham su ekstraktı kullanılarak pıhtılaşma-flokülasyon ve çöktürme yoluyla endüstriyel atık su numuneleri arıtılmıştır. Arıtılmış atıksuyun kalitesi analiz edilmiş ve alum ile arıtılmış atıksuyun kalitesi ile karşılaştırılmıştır. Moringa oleifera tohumlarının atık su arıtımında askıda katı maddelerin ve mikroorganizmaların uzaklaştırılması ve ayrıca bazı metallerin uzaklaştırılması için birincil pıhtılaştırıcı olarak etkili olduğunu gösterdi. Ndabigengesere ve Subba Narasiah (1998).

Besinler ve KOİ başarıyla uzaklaştırılmadı. Moringa oleifera tohumları kullanılarak pıhtılaştırma yoluyla KOİ ve besinler bir şekilde artırıldı. Şapla karşılaştırıldığında, Moringa oleifera tohumları 4 ila 6 kat daha az çamur hacmi üretti. Şapın fosfor gideriminde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Moringa oleifera tohumlarında gözlemlenen KOİ ve besin maddelerindeki artış, ham su ekstraktı yerine saflaştırılmış proteinler kullanılarak önlenabilir.

4.3.3. Çam Kozalağı Tozu Karakterizasyonu Scanning Elektron Mikroskobu (SEM) Görüntüleri

Pıhtılaştırma işleminden önce ve sonra çam kozalağı tozunun morfolojik yüzey yapısı incelenmiştir. Çam kozalağı tozu Şekil 2a'da görüldüğü gibi yoğunlaştırılmış kristal tuğla şeklinde bir yapıya sahiptir. Yapı, asılı parçacıklar ve katyonlar için bir bağlantı noktası işlevi görmektedir [102].

Şekil 2b’de görüldüğü gibi pıhtılaştırıcı parçacıkları toplayarak kolayca çöken daha büyük yumaklara neden olmuştur. Sonuç olarak, çam kozalağının SEM görüntüleri, çam kozalağının istisnai pıhtılaşıma özellikleri için köprü oluşturmanın anahtar olabileceğini ortaya çıkarmıştır [102].



Şekil 4.12. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Gözlemlenen Çam Kozalağı Tozu için Mikroskopik Görüntü (2 µm). Koagülasyon İşleminden Önce (A), Koagülasyon İşleminden sonra (B).

Çizelge 4.13. Çam kozalağı tozunun kütle yüzdesi

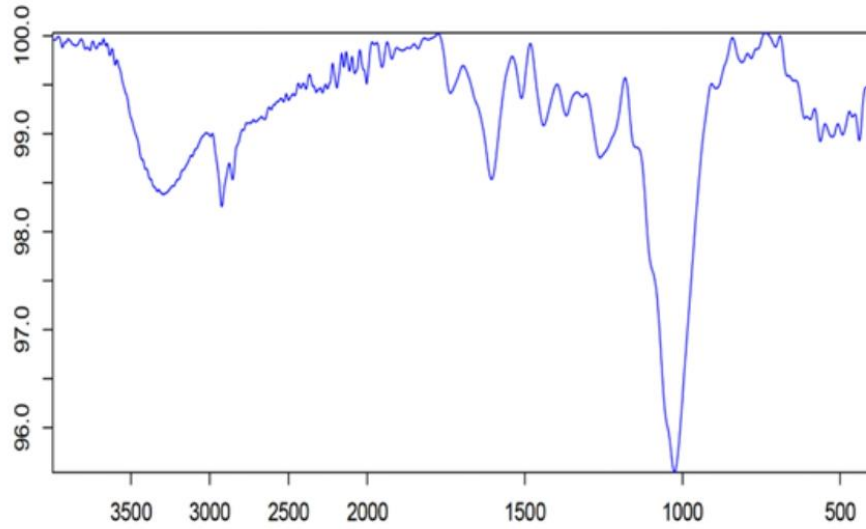
Mass percent (%)

Spectrum	H	C	N	O	Mg	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
1	0.45	56.83	0.34	38.15	0.08	0.30	0.00	3.78	0.06	0.00
2	24.69	45.95	0.36	25.57	0.44	0.31	0.00	2.33	0.00	0.35
3	65.67	23.60	0.00	9.03	0.04	0.38	0.00	0.00	0.43	0.85
4	37.98	36.63	0.00	17.47	0.03	0.24	1.32	6.33	0.00	0.00
5	26.41	42.88	0.31	28.61	0.29	0.68	0.40	0.00	0.00	0.42
Mean value:	31.04	41.18	0.20	23.77	0.18	0.38	0.34	2.49	0.10	0.32
Sigma:	23.69	12.25	0.19	11.07	0.18	0.18	0.57	2.68	0.19	0.35
Sigma mean:	10.59	5.48	0.08	4.95	0.08	0.08	0.26	1.20	0.08	0.16

4.3.4 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Analizi

Şekil 3’te gösterildiği gibi Kızılötesi (IR) spektrumuna karşılık gelen toz çam kozalağında ana olası fonksiyonel grupların varlığını daha fazla incelemek için FTIR Spektroskopisi kullanılarak elde edilmiştir. FTIR analizi birincil fonksiyonel

gruplarını basitleştirmek ve vurgulamak için yeterli olabilir. Bant aralığı -fonksiyonel gruplarının dalga boyu tepelerinin aralığı içinde vurgulanabileceği- çam kozalağı için üretilen IR spektrumlarının araştırılmasını sağlamak için seçilmiştir. 3000-2500 cm⁻¹ aralığında gözlemlenen tepe noktası, pıhtılaşma işlemi sırasında partikül köprülme mekanizmasına katkıda bulunan, atık sudan amonyak ve organiklerin uzaklaştırılmasına yardımcı olabilecek güçlü amin tuzlarının (N-H) varlığını gösterebilir. C-N bağlantısı, 1750-1650 cm⁻¹ arasındaki tepe noktası ile gösterilirken (1650-1550) cm⁻¹ arasındaki bağlantı bir birincil amin N-H veya aromatik C=C'yi doğrulamaktadır. Yeşil alanda 1300-1250 cm⁻¹ arasındaki tepe, aromatik ester C-O bağını gösterirken 1200-1000 cm⁻¹ arasındaki tepe N-H alifatik amin göstermektedir. [103, 104].



Şekil 4.13. Çam Kozalağı Tozu için Fourier Dönüştürülmüş Kızılötesi (FTIR) Spektroskopi Eğrisi [90].

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

- Bu çalışma, demir ve çelik atık sularının arıtılması için çam kozalağı özütünün potansiyelini göstermiştir.
- Orta düzeyde pıhtılaştırıcı dozu ile olumlu pıhtılaşma aktivitesinin sonuçları gözlemlenmiştir. Bu da yalnızca orta dozların demir ve çelik atık sudaki tüm asılı parçacıkları bağlayabilen yeterli proteinleri sağladığını göstermektedir.
- Pıhtılaştırıcı dozu ve pH'ın yanı sıra maksimum SS giderimi için pıhtılaştırıcı özütünün optimize edilmiş yoğunluğu çok önemlidir.
- Kontrol parametrelerinin optimize edilmesiyle %94'lük en yüksek kaldırma verimliliği elde edilmiştir.
- Çam kozalağı özütünün demir ve çelik atık sularının arıtılması için doğal ve sürdürülebilir bir kaynak olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Genel olarak, KOİ, TSS, NH₃-N, Mn, Fe, Zn, Al ve Ni'nin çam kozalağı tozu ile uzaklaştırma etkinliği demir çelik endüstrisi atıksuyu arıtımında bitki bazlı bir doğal pıhtılaştırıcı olarak umut verici sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deney çam kozalağı tozunun önemli pıhtılaşma özelliklerini kanıtlamıştır. Aşağıdakiler çalışmanın spesifik sonuçlarıdır. FTIR araştırması, pıhtılaşma sürecinde yer alan birkaç fonksiyonel grubun varlığını göstermiştir. 0,6g/200ml'de çam kozalağı tozu, önemli miktarlarda KOİ, TSS, NH₃-N, Mn, Fe, Zn, Al ve Ni'yi atık sudan %83,33, %99,00, %83 pH 8,89, %86,76, 93,96'da gidermektedir. Sırasıyla %, %89,71, %73,68 ve %86,67. pH aralıklarının (5-10) etkileri atık su numunesinin doğal pH'ının mümkün olan en büyük uzaklaştırma verimini gösterdiğini ifade etmektedir. Çam kozalağı tozu organik olduğundan, eklenmesinin endüstriyel atık suyun pH'ı üzerinde hiçbir etkisi olmamıştır. Sonuç olarak, pıhtılaştırıcı olarak çam kozalağı tozu kullanıldığında, araştırma aşamasında pH ayarlaması gerekli olmamıştır.

KAYNAKLAR

1. Binesh, A., Mohammadi, S., Mowlavi, A., and Parvaresh, P., "Research Article Measurement of Heavy Radioactive Pollution : Radon and Radium in Drinking Water Samples of Mashhad", *International Journal*, 10 (1): 54–58 (2010).
2. Ashbolt, N. J., "Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions", *Toxicology*, 198 (1–3): 229–238 (2004).
3. Bolognesi, C., "Genotoxicity of pesticides: A review of human biomonitoring studies", *Mutation Research - Reviews In Mutation Research*, 543 (3): 251–272 (2003).
4. Brenniman, G. R., Namekata, T., Kojola, W. H., Carnow, B. W., and Levy, P. S., "Cardiovascular disease death rates in communities with elevated levels of barium in drinking water", *Environmental Research*, 20 (2): 318–324 (1979).
5. Brown, H. S., Bishop, D. R., and Rowan, C. A., "The role of skin absorption as a route of exposure for volatile organic compounds (VOCs) in drinking water", *American Journal Of Public Health*, 74 (5): 479–484 (1984).
6. Sharma, S. and Bhattacharya, A., "Drinking water contamination and treatment techniques", *Applied Water Science*, 7 (3): 1043–1067 (2017).
7. Clarkson, T. W., "Mercury: Major issues in environmental health", *Environmental Health Perspectives*, 100: 31–38 (1993).
8. Organization, W. H., "Water safety in distribution system", *World Health Organization*, 153 (2014).
9. Fawell, J. and Nieuwenhuijsen, M. J., "Contaminants in drinking water", *British Medical Bulletin*, 68: 199–208 (2003).
10. Fawell, J., Bailey, K., Chilton, J., Dahi, E., Fewtrell, L., and Magara, Y., "*Fluoride in Drinking-Water*", .
11. Gupta, S. K., Gupta, R. C., Seth, A. K., Gupta, A. B., Bassin, J. K., and Gupta, A., "Methaemoglobinaemia in areas with high nitrate concentration in drinking water", *National Medical Journal Of India*, 13 (2): 58–61 (2000).
12. Shuqi, C., Xibao, W., Haigang, L., Shuaihe, W., and Lei, X., "The Research on the Influence of Degassing Temperatures of Water Samples on Radon Observations", *Mathematical Problems In Engineering*, 2022: (2022).

13. Harvey, R. W., Smith, R. L., and George, L., "Effect of organic contamination upon microbial distributions and heterotrophic uptake in a cape cod, mass., aquifer", *Applied And Environmental Microbiology*, 48 (6): 1197–1202 (1984).
14. Hitzfeld, B. C., Höger, S. J., and Dietrich, D. R., "Cyanobacterial toxins: Removal during drinking water treatment, and human risk assessment", *Environmental Health Perspectives*, 108 (SUPPL. 1): 113–122 (2000).
15. Olivares, M., Araya, M., and Uauy, R., "Copper Homeostasis in Infant Nutrition: Deficit and Excess", *Journal Of Pediatric Gastroenterology And Nutrition*, 31 (2): 102–111 (2000).
16. Gary, P. H. . J. B. M. . S. C. T. et al, "The New England Journal of Medicine Downloaded from nejm.org on April 1, 2015. For personal use only. No other uses without permission. Copyright © 1990 Massachusetts Medical Society. All rights reserved.", *The New English Journal Of Medicine*, 323 (16): 1120–1123 (1990).
17. Nriagu, J. O., "A silent epidemic of environmental metal poisoning?", *Environmental Pollution*, 50 (1–2): 139–161 (1988).
18. Nwachcuku, N. and Gerba, C. P., "Emerging waterborne pathogens: Can we kill them all?", *Current Opinion In Biotechnology*, 15 (3): 175–180 (2004).
19. Qamar, K., Nchasi, G., Mirha, H. T., Siddiqui, J. A., Jahangir, K., Shaeen, S. K., Islam, Z., and Essar, M. Y., "Water sanitation problem in Pakistan: A review on disease prevalence, strategies for treatment and prevention", *Annals Of Medicine And Surgery*, 82 (June): 104709 (2022).
20. Chowdhary, P., Bharagava, R. N., Mishra, S., and Khan, N., "Role of Industries in Water Scarcity and Its Adverse Effects on Environment and Human Health", *Environmental Concerns And Sustainable Development*, (Dm): 235–256 (2020).
21. Goutam, S. P., Saxena, G., Singh, V., Yadav, A. K., Bharagava, R. N., and Thapa, K. B., "Green synthesis of TiO₂ nanoparticles using leaf extract of *Jatropha curcas* L. for photocatalytic degradation of tannery wastewater", *Chemical Engineering Journal*, 336: 386–396 (2018).
22. Saxena, G., and Bharagava, R. N. (2015), "Persistent Organic Pollutants and Bacterial Communities Present during the Treatment of Tannery Wastewater.", *Environmental Waste Management*, 88–100 (2557).
23. Chandra, R. and Kumar, V., "Environmental Waste Management", *Environmental Waste Management*, 385–412 (2015).
24. Bharagava, R. N., Saxena, G., Mulla, S. I., and Patel, D. K., "Characterization and Identification of Recalcitrant Organic Pollutants (ROPs) in Tannery Wastewater and Its Phytotoxicity Evaluation for Environmental Safety", *Archives Of Environmental Contamination And Toxicology*, 75 (2): 259–272 (2018).

25. Samer, M., "*Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes*", (2015).
26. Shuokr, Q. and Sazan, M., "Characteristics, treatment techniques, and operational limitations for refinery wastewater: Review", *Reciklaza I Odrzivi Razvoj*, 14 (1): 19–30 (2021).
27. Zueva, S., Corradini, V., Ruduka, E., and Veglio, F., "*Treatment of petroleum refinery wastewater by physicochemical methods*", (2020).
28. Madan, S., Sachan, P., and Singh, U., "A review on bioremediation of pulp and paper mill effluent—An alternative to conventional remedial technologies", *Journal Of Applied And Natural Science*, 10 (1): 367–374 (2018).
29. Durai, G., Rajasimman, M., and Rajamohan, N., "Aerobic digestion of tannery wastewater in a sequential batch reactor by salt-tolerant bacterial strains", *Applied Water Science*, 1 (1–2): 35–40 (2011).
30. Naresh Bharagava, R., "Distillery Wastewater: it's Impact on Environment and Remedies", *Environmental Analysis & Ecology Studies*, 1 (2): (2018).
31. Gadipelly, C., Pérez-González, A., Yadav, G. D., Ortiz, I., Ibáñez, R., Rathod, V. K., and Marathe, K. V., "Pharmaceutical industry wastewater: Review of the technologies for water treatment and reuse", *Industrial And Engineering Chemistry Research*, 53 (29): 11571–11592 (2014).
32. Ng, M., Dalhatou, S., Wilson, J., Kamdem, B. P., Temitope, M. B., Paumo, H. K., Djelal, H., Assadi, A. A., Nguyen-tri, P., and Kane, A., "Characterization of Slaughterhouse Wastewater and Development of Treatment Techniques: A Review", *Processes*, 10 (7): 1–28 (2022).
33. Jaramillo, M. F. and Restrepo, I., "Wastewater reuse in agriculture: A review about its limitations and benefits", *Sustainability (Switzerland)*, 9 (10): (2017).
34. Mojiri, A., Zhou, J. L., Ratnaweera, H., Ohashi, A., Ozaki, N., Kindaichi, T., and Asakura, H., "Treatment of landfill leachate with different techniques: An overview", *Journal Of Water Reuse And Desalination*, 11 (1): 66–96 (2021).
35. Kefeni, K. K., Msagati, T. A. M., and Mamba, B. B., "Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery: A review", *Journal Of Cleaner Production*, 151: 475–493 (2017).
36. O. B., A., "Wastewater Management, Recycling and Discharge", *Hydrology*, 3 (3): 33 (2015).
37. Chandra, R., Yadav, S., Bharagava, R. N., and Murthy, R. C., "Bacterial pretreatment enhances removal of heavy metals during treatment of post-methanated distillery effluent by *Typha angustata* L.", *Journal Of Environmental Management*, 88 (4): 1016–1024 (2008).

38. Saxena, G., Purchase, D., and Bharagava, R. N., "Environmental hazards and toxicity profile of organic and inorganic pollutants of tannery wastewater and bioremediation approaches", *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety*, **Springer**, 381–398 (2020).
39. Bharagava, R. N., Saxena, G., and Mulla, S. I., "Introduction to industrial wastes containing organic and inorganic pollutants and bioremediation approaches for environmental management", *Bioremediation of Industrial Waste for Environmental Safety*, **Springer**, 1–18 (2020).
40. Lakatos, G., "Biological wastewater treatment", *Wastewater And Water Contamination: Sources, Assessment and Remediation*, 105–128 (2018).
41. Department, M. von S., "**B I O L O G I C A L W a S T E W a T E R T R E A T M E N T S E R I E S of Wastewater**", (2007).
42. Davis, G. and Ekwue, E., "Hydrus-1D simulation of two-stage cross-flow pre-filtration of turbid river water", *Water Supply*, 22 (2): 1244–1254 (2022).
43. Rodríguez, A., Rosal, R., Perdigón-Melón, J. A., Mezcuca, M., Agüera, A., Hernando, M. D., Letón, P., Fernández-Alba, A. R., and García-Calvo, E., "Ozone-based technologies in water and wastewater treatment", *Emerging Contaminants From Industrial And Municipal Waste*, 127–175 (2008).
44. Tetteh, E. K., Rathilal, S., and Robinson, K., "Treatment of industrial mineral oil wastewater – effects of coagulant type and dosage", *Water Practice And Technology*, 12 (1): 139–145 (2017).
45. Tzoupanos, N. D. and Zouboulis, a I., "Coagulation-Flocculation Processes in Water / Wastewater Treatment : the Application of New Generation of Chemical Reagents", 6th IASME/WSEAS International Conference On HEAT TRANSFER, *Thermal Engineering And Environment*, (May 2014): 309–317 (2008).
46. Verma, A. K., Dash, R. R., and Bhunia, P., "A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters", *Journal Of Environmental Management*, 93 (1): 154–168 (2012).
47. Buckner, C. A., Lafrenie, R. M., Dénomée, J. A., Caswell, J. M., Want, D. A., Gan, G. G., Leong, Y. C., Bee, P. C., Chin, E., Teh, A. K. H., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., Masuelli, M., Korrapati, S., Kurra, P., Puttugunta, S., Picco, S., Villegas, L., Tonelli, F., Merlo, M., Rigau, J., Diaz, D., Masuelli, M., Tascilar, M., de Jong, F. A., Verweij, J., and Mathijssen, R. H. J., "**We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 %**", *Intech*, 11 (tourism): 13 (2016).
48. Duan, J. and Gregory, J., "Coagulation by hydrolysing metal salts", *Advances In Colloid And Interface Science*, 100–102 (SUPPL.): 475–502 (2003).

49. Bimrew Sendekie Belay, "Discovering the optimum bacterial environment in the activated sludge purification of cardboard industry's wastewater", (8.5.2017): 2003–2005 (2022).
50. Wang, L. K., Vaccari, D. A., Li, Y., and Shammass, N. K., "Chemical *Precipitation*", *Physicochemical Treatment Processes*, 3: 141–197 (2005).
51. Chai, W. S., Cheun, J. Y., Kumar, P. S., Mubashir, M., Majeed, Z., Banat, F., Ho, S. H., and Show, P. L., "A review on conventional and novel materials towards heavy metal adsorption in wastewater treatment application", **Journal Of Cleaner Production**, 296: 126589 (2021).
52. Zhou, C., Wu, J., Dong, L., Liu, B., Xing, D., Yang, S., Wu, X., Wang, Q., Fan, J., and Feng, L., "Removal of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes in wastewater effluent by UV-activated persulfate", **Journal Of Hazardous Materials**, 388: 122070 (2020).
53. Tripathi, A. and Rawat Ranjan, M., "Heavy Metal Removal from Wastewater Using Low Cost Adsorbents", *Journal Of Bioremediation & Biodegradation*, 06 (06): (2015).
54. Kumar, V., Othman, N., and Asharuddin, S., "*Applications of natural coagulants to treat wastewater– a review*", (2017).
55. Theodoro, J. D. P., Lenz, G. F., Zara, R. F., and Bergamasco, R., "Coagulants and natural polymers: perspectives for the treatment of water", *Plastic And Polymer Technology*, 2 (3): 55–62 (2013).
56. Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., and Ramanan, R. N., "Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification", *Journal Of Environmental Sciences (China)*, 26 (11): 2178–2189 (2014).
57. Teixeira, M. R., Camacho, F. P., Sousa, V. S., and Bergamasco, R., "Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products", *Journal Of Cleaner Production*, 162: 484–490 (2017).
58. Mohd-Asharuddin, S., Othman, N., Zin, N. S. M., and Tajarudin, H. A., "*A chemical and morphological study of cassava peel: A potential waste as coagulant aid*", (2017).
59. Camacho, F. P., Sousa, V. S., Bergamasco, R., and Ribau Teixeira, M., "The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment", *Chemical Engineering Journal*, 313: 226–237 (2017).
60. Ghebremichael, K. A., Gunaratna, K. R., Henriksson, H., Brumer, H., and Dalhammar, G., "A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed", *Water Research*, 39 (11): 2338–2344 (2005).

61. Rusdizal, N., Aziz, H. A., and Fatehah, M. O., "*Potential use of polyaluminium chloride and tobacco leaf as coagulant and coagulant aid in post-treatment of landfill leachate*", (2015).
62. Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J., and Peres, J. A., "Improvement of the flocculation process in water treatment by using Moringa oleifera seeds extract", *Brazilian Journal Of Chemical Engineering*, 29: 495–502 (2012).
63. Vieira, R. B., Vieira, P. A., Cardoso, S. L., Ribeiro, E. J., and Cardoso, V. L., "Sedimentation of mixed cultures using natural coagulants for the treatment of effluents generated in terrestrial fuel distribution terminals", *Journal Of Hazardous Materials*, 231: 98–104 (2012).
64. Zonoozi, M. H., Alavi Moghaddam, M. R., and Arami, M., "Study on the removal of acid dyes using chitosan as a natural coagulant/coagulant aid", *Water Science And Technology*, 63 (3): 403–409 (2011).
65. Pearse, M. J., "Historical use and future development of chemicals for solid–liquid separation in the mineral processing industry", *Minerals Engineering*, 16 (2): 103–108 (2003).
66. Ndabigengesere, A. and Narasiah, K. S., "Quality of water treated by coagulation using Moringa oleifera seeds", *Water Research*, 32 (3): 781–791 (1998).
67. Al Azharia Jahn, S., "Using Moringa Seeds As Coagulants in Developing Countries.", *Journal / American Water Works Association*, 80 (6): 43–50 (1988).
68. Ghebremichael, K., "Overcoming the drawbacks of natural coagulants for drinking water treatment", *Water Science And Technology: Water Supply*, 7 (4): 87–93 (2007).
69. Shan, T. C., Matar, M. Al, Makky, E. A., and Ali, E. N., "The use of Moringa oleifera seed as a natural coagulant for wastewater treatment and heavy metals removal", *Applied Water Science*, 7 (3): 1369–1376 (2017).
70. Muyibi, S. A. and Evison, L. M., "Moringa oleifera seeds for softening hardwater", *Water Research*, 29 (4): 1099–1104 (1995).
71. Maruthi, Y. A., Dadhich, A. S., Hossain, K., and Jyothsna, A., "Nirmali Seed as a Natural Biosorbent ; Evaluation of its Potential for Iron (II) Removal from Steel Plant Effluents and Sewage Disinfecting Capacity", *European Journal Of Sustainable Development*, 2 (3): 77–84 (2013).
72. Ramavandi, B. and Farjadfard, S., "Removal of chemical oxygen demand from textile wastewater using a natural coagulant", *Korean Journal Of Chemical Engineering*, 31 (1): 81–87 (2014).

73. Fard, M. B., Hamidi, D., Yetilmezsoy, K., Alavi, J., and Hosseinpour, F., "Utilization of Alyssum mucilage as a natural coagulant in oily-saline wastewater treatment", *Journal Of Water Process Engineering*, 40 (October): 101763 (2021).
74. Xia, T., Kovochich, M., Liong, M., Mädler, L., Gilbert, B., Shi, H., Yeh, J. I., Zink, J. I., and Nel, A. E., "Comparison of the mechanism of toxicity of zinc oxide and cerium oxide nanoparticles based on dissolution and oxidative stress properties", *ACS Nano*, 2 (10): 2121–2134 (2008).
75. Palma, G., Freer, J., and Baeza, J., "Removal of metal ions by modified *Pinus radiata* bark and tannins from water solutions", *Water Research*, 37 (20): 4974–4980 (2003).
76. Schofield, P., Mbugua, D. M., and Pell, A. N., "Analysis of condensed tannins: A review", *Animal Feed Science And Technology*, 91 (1–2): 21–40 (2001).
77. Mangrich, A. S., Doumer, M. E., Mallmann, A. S., and Wolf, C. R., "Green chemistry in water treatment: Use of coagulant derived from acacia mearnsii tannin extracts", *Revista Virtual De Quimica*, 6 (1): 2–15 (2014).
78. Kim, T. J., Silva, J. L., Kim, M. K., and Jung, Y. S., "Enhanced antioxidant capacity and antimicrobial activity of tannic acid by thermal processing", *Food Chemistry*, 118 (3): 740–746 (2010).
79. Zhang, B., Su, H., Gu, X., Huang, X., and Wang, H., "Effect of structure and charge of polysaccharide flocculants on their flocculation performance for bentonite suspensions", *Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects*, 436: 443–449 (2013).
80. Okaiyeto, K., Nwodo, U. U., Mabinya, L. V., and Okoh, A. I., "Characterization of a bioflocculant produced by a consortium of *Halomonas* sp. Okoh and *Micrococcus* sp. Leo", *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 10 (10): 5097–5110 (2013).
81. Wang, L., Feng, Z., Wang, X., Wang, X., and Zhang, X., "DEGseq: An R package for identifying differentially expressed genes from RNA-seq data", *Bioinformatics*, 26 (1): 136–138 (2009).
82. Zhang, D., Hou, Z., Liu, Z., and Wang, T., "Experimental research on *Phanerochaete chrysosporium* as coal microbial flocculant", *International Journal Of Mining Science And Technology*, 23 (4): 521–524 (2013).
83. Nwodo, U. U. and Okoh, A. I., "Characterization and flocculation properties of biopolymeric flocculant (glycosaminoglycan) produced by *Cellulomonas* sp. Okoh", *Journal Of Applied Microbiology*, 114 (5): 1325–1337 (2013).

84. Salehizadeh, H. and Shojaosadati, S. A., "Extracellular biopolymeric flocculants: recent trends and biotechnological importance", *Biotechnology Advances*, 19 (5): 371–385 (2001).
85. Kakoi, B., Kaluli, J. W., Ndiba, P., and Thiong'o, G., "Banana pith as a natural coagulant for polluted river water", *Ecological Engineering*, 95: 699–705 (2016).
86. Abidin, Z. Z., Mohd Shamsudin, N. S., Madehi, N., and Sobri, S., "Optimisation of a method to extract the active coagulant agent from *Jatropha curcas* seeds for use in turbidity removal", *Industrial Crops And Products*, 41 (1): 319–323 (2013).
87. Dotto, J., Fagundes-Klen, M. R., Veit, M. T., Palácio, S. M., and Bergamasco, R., "Performance of different coagulants in the coagulation/flocculation process of textile wastewater", *Journal Of Cleaner Production*, 208: 656–665 (2019).
88. Muralimohan, N., Palanisamy, T., and Vimaladevi, M. N., "Experimental Study on Removal Efficiency of Blended Coagulants in Textile Wastewater Treatment", *International Journal Of Research In Engineering & Technology*, 2 (2): 2321–8843 (2014).
89. Prabhakaran, G., Manikandan, M., and Boopathi, M., "Treatment of textile effluents by using natural coagulants", *Materials Today: Proceedings*, 33 (xxxx): 3000–3004 (2020).
90. Shankar, D., Sivakumar, D., Thiruvengadam, M., and Manojkumar, M., "Colour removal in a textile industry wastewater using coconut coir pith", *Pollution Research*, 33 (3): 499–503 (2014).
91. Daija, L., Selberg, A., Rikmann, E., Zekker, I., Tenno, T., and Tenno, T., "The influence of lower temperature, influent fluctuations and long retention time on the performance of an upflow mode laboratory-scale septic tank", *Desalination And Water Treatment*, 57 (40): 18679–18687 (2016).

ÖZGEÇMİŞ

Hamza A.A. RAMADAN, 1998 yılında Daya Al. Hilal Lisesinden mezun oldu. 2003 yılında Al. Ajeilat Yüksek Su İşleri Enstitüsü'nden mezun oldu. 2006-2017 yılları arasında Petrol Şirketinde çalıştı. 2018 yılından bu Al. Zawiya Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde İdari İşler Müdürü olarak çalışmaktadır. Şubat, 2019 'da Karabük Üniversitesi Lisanüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladım.