

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIKSU ARITIMINDA ALTERNATİF KOAGÜLANTLARIN
PERFORMANSLARININ KLASİK KOAGÜLANTLARA KARŞI
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Eda BOYACIOĞLU

**Danışman
Prof. Dr. Ayla UYSAL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**



©2019 [Eda BOYACIOĞLU]

TEZ ONAYI

Eda BOYACIOĞLU tarafından hazırlanan "Atıksu Arıtımında Alternatif Koagülanların Performanslarının Klasik Koagülanlara Karşı Değerlendirilmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

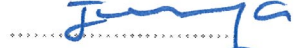
Danışman

Prof. Dr. Ayla UYSAL
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Emine SAYILGAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YAZICI
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Eda BOYACIOĞLU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	8
2.1. Atıksu Kaynakları ve Atıksu Arıtma Metotları.....	8
2.1.1. Fiziksel arıtma.....	9
2.1.2. Biyolojik arıtma	9
2.1.3. Kimyasal arıtma	10
2.2. Organize Sanayi Bölgesi Atıksuları	10
2.3. Koagülasyon-Flokülasyon.....	12
2.3.1. Koagülasyon (Hızlı karıştırma).....	13
2.3.1.1. Kolloidin stabilitesinin bozulması (Destabilizasyon)	14
2.3.1.2. Kullanılan koagülant maddeler	15
2.3.2. Flokülasyon (Yavaş karıştırma).....	17
2.3.2.1. Kullanılan flokülant maddeler.....	17
2.3.3. Çöktürme.....	18
2.3.4. Koagülasyon-flokülasyon ile arıtma metodunda alternatif koagülantların kullanımı	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1. Materyal	24
3.1.1. Endüstriyel atıksu numunesi temini	24
3.1.2. Kullanılan kimyasal maddeler.....	25
3.1.3. Kullanılan kimyasal maddelerin hazırlanması	25
3.1.4. Deney süresince kullanılan cihazlar.....	25
3.3. Analitik Yöntem.....	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	30
4.1. OSB'den Alınan Endüstriyel Atıksuyun Karakteri.....	30
4.2. Endüstriyel Atıksudan AKM Giderim Verimleri Üzerine Klasik Koagülantlar ve Alternatif Koagülantların Etkileri.....	31
4.3. Endüstriyel Atıksudan KOİ Giderim Verimleri Üzerine Klasik Koagülantlar ve Alternatif Koagülantların Etkileri.....	37
4.4. Klasik ve Alternatif Koagülantlar İçin Endüstriyel Atıksudan En İyi Giderim Verimlerinin Elde Edildiği Şartlarda Oluşan Çamur Miktarları ve SVI Değerleri.....	43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	50
ÖZGEÇMİŞ	55

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIKSU ARITIMINDA ALTERNATİF KOAGÜLANTLARIN PERFORMANSLARININ KLASİK KOAGÜLANTLARA KARŞI DEĞERLENDİRİLMESİ

Eda BOYACIOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayla UYSAL

Endüstriyel faaliyetlerle oluşan atıksular ve bileşenleri, yüzeysel suyun, yeraltı suyunun ve toprak zemininin kirlenmesini önlemek için deşarj edilmeden önce arıtma tesislerinde arıtılmalıdır. Atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılan işlemlerden biri kimyasal arıtma teknolojisidir. En çok uygulanan kimyasal arıtma prosesleri; kimyasal pıhtılaşıma, kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon ve ileri oksidasyon, iyon değişimi ve kimyasal nötralizasyondur. Koagülasyon ve flokülasyon prosesleri atıksu arıtımının önemli bir parçasıdır. Alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$) ve demir klorür ($FeCl_3$) uzun yıllardır en yaygın olarak kullanılan koagülantlardır ve uygulanmaları kolaydır. Bununla birlikte, bu koagülantların kullanıldığı koagülasyon prosesi, verimli atıksu arıtımını engelleyen büyük miktarda çamur üretmektedir. Daha az çamur veya yeniden kullanılabilir çamur üreten bir koagülant, çamur arıtımı ve bertarafı ile ilişkili birçok çevresel ve ekonomik problemlere daha iyi bir çözüm sunacaktır.

Bu çalışmada; jar testleri uygulanarak endüstriyel atıksuyun arıtılmasında zirkonyum tetraklorür ($ZrCl_4$), titanyum tetraklorür ($TiCl_4$) ve zirkonyum oksiklorür ($ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$) alternatif koagülantlarının, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $FeCl_3$ klasik koagülantlarına göre karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve askıda katı madde (AKM) giderimleri üzerine başlangıç pH (4-10) ve başlangıç koagülant dozunun (10-100 mg/L) etkileri araştırılmıştır. Ek olarak, kullanılan tüm koagülantlar için optimize edilmiş deney koşullarında çöken çamur hacmi ve çamur hacim indeksi (SVI) belirlenmiştir. 100 mg/L koagülant dozunda KOİ giderim verimleri sırasıyla $TiCl_4$ için pH 8 değerinde %69,33, $ZrCl_4$ için pH 4 değerinde %67,20, $FeCl_3$ için pH 4 değerinde %66,66, $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ için pH 4 değerinde %66,54 ve $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ için pH 6 değerinde %64,66 olmuştur. Bu sonuçlar, pH 8 değerinde 100 mg/L $TiCl_4$ dozunda en yüksek KOİ giderim veriminin (%69,33) elde edildiğini göstermiştir. En yüksek AKM giderim verimi (%98,32), 50 mg/L $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ dozunda pH 8 ve 10 değerlerinde elde edilmiştir.

$TiCl_4$ koagülantı için çöken çamur hacmi ve SVI değeri, $ZrCl_4$, $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $FeCl_3$ koagülantlarından daha düşük olmuştur. $ZrCl_4$, $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$, $FeCl_3$ ve $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantları için SVI değerleri sırasıyla

128,13 mL/g, 92,39 mL/g, 72,26 mL/g ve 69,66 mL/g olurken; $TiCl_4$ koagülantı için SVI değeri 48,84 mL/g olmuştur. $TiCl_4$ diğer koagülantlara göre nispeten daha kompakt bir çamur üretmiştir. Sonuçlar, $ZrCl_4$, $TiCl_4$ ve $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ 'nun endüstriyel atıksu arıtma işlemlerinde alternatif koagülant olarak kullanabileceğini göstermektedir. Ek olarak, sonuçlar $TiCl_4$ 'ün hem KOİ giderimi hem de daha az çamur üretimi açısından etkili bir koagülant olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum sülfat, çamur üretimi, demir klorür, endüstriyel atıksu, koagülant, titanyum tetraklorür, zirkonyum oksiklorür, zirkonyum tetraklorür.

2019, 54 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF ALTERNATIVE COAGULANTS FOR WASTEWATER TREATMENT AGAINST CONVENTIONAL COAGULANTS

Eda BOYACIOĞLU

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ayla UYSAL

Wastewaters and their ingredients which are formed by industrial activities must be treated before discharge into suitable receivers in order to prevent the pollution of surface water, groundwater and soil ground. One of the widely used processes in wastewater treatment is chemical treatment technology. The mostly implemented chemical treatment processes are: including chemical coagulation, chemical precipitation, chemical oxidation and advanced oxidation, ion exchange and chemical neutralization. Coagulation and flocculation processes are an important part of wastewater treatment. Aluminium sulfate ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) and ferric chloride (FeCl_3) are the most commonly used coagulants many years and are easy to handle and apply. However, the coagulation process using these coagulants produces large quantities of sludge which inhibit efficient wastewater treatment. A coagulant that produces less sludge or more reusable sludge offers a better solution to many environmental and economic problems associated with sludge treatment and disposal.

In this study, the evaluation of zirconium tetrachloride (ZrCl_4), titanium tetrachloride (TiCl_4) and zirconium oxychloride ($\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) alternative coagulants in comparison with conventional coagulants, such as $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ and FeCl_3 were performed using jar test experiments for industrial wastewater treatment. The effect of initial pH (4–10) and initial coagulant dose (10–100 mg/L) on chemical oxygen demand (COD) and suspended solids (SS) removal were investigated. Additionally, the settled sludge volume and sludge volume index (SVI) of all the coagulants were determined for optimized experiment conditions. When coagulant dose was 100 mg/L, the percentage removals of COD were 69.33% at pH 8 for TiCl_4 , 67.20% at pH 4 for ZrCl_4 , 66.66% at pH 4 for FeCl_3 , 66.54% at pH 4 for $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, and 64.66% at pH 6 for $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, respectively. These results showed that the maximum removal efficiency of COD (69.33%) was achieved with 100 mg/L TiCl_4 , at pH 8. The maximum removal efficiency of SS (98.32%) was achieved with 50 mg/L alum, at pH 8 and 10.

The settled sludge volume and SVI generated by the TiCl_4 was lower than for the ZrCl_4 , $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ and FeCl_3 . ZrCl_4 , $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, FeCl_3 and $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ resulted in a 128.13 mL/g, 92,39 mL/g, 72.26 mL/g, 69.66 mL/g

while the SVI by TiCl_4 was 48.84 mL/g. TiCl_4 produced a relatively compact sludge as compared to the other coagulants. The results indicate that ZrCl_4 , TiCl_4 and $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ could be used alternative coagulants in industrial wastewater treatment processes. In addition, the results showed that TiCl_4 was an effective coagulant both in terms of COD removal and less sludge production.

Keywords: Aluminium sulfate, coagulation, ferric chloride, industrial wastewater, sludge production, titanium tetrachloride, zirconium oxychloride, zirconium tetrachloride.

2019, 54 pages



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleőtirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaőan, kendisine ne zaman danıősam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaőadıęımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düőündüęüm kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Ayla UYSAL'a teőekkürlerimi sunarım.

5091-YL1-17 No'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Baőkanlıęı'na teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmalarım için endüstriyel atıksu numunelerini sağladığım Antalya Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi çalıőanlarına teőekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babam Sadık ÇELİKEL, annem Emine ÇELİKEL, kayınvalidem GÜLŐEN BOYACIOğLU, kayınpederim İzzet BOYACIOğLU'na teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatımın her anında olduğu gibi beni her zaman ve her konuda destekleyen en değerli hazinem Eőim Hakan BOYACIOğLU'na őükran ve teőekkürlerimi sunarım.

Eda BOYACIOğLU
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisi akım diyagramı (Akyatan, 2010)	12
Şekil 3.1. Jar test deneylerinin yapıldığı düzenek ve çalışmalardan örnekler (a) yavaş karıştırma periyodu, (b) 1 saatlik çökelme süresi sonu	27
Şekil 4.1. pH 4 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri	33
Şekil 4.2. pH 6 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri	34
Şekil 4.3. pH 8 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri.....	35
Şekil 4.4. pH 10 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri.....	36
Şekil 4.5. pH 4 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri.....	39
Şekil 4.6. pH 6 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri.....	40
Şekil 4.7. pH 8 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri	41
Şekil 4.8. pH 10 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri.....	41
Şekil 4.9. En iyi KOİ giderim verimlerinin elde edildiği şartlarda 1000 mL numune hacminde jar test çalışması	44
Şekil 4.10. En iyi KOİ giderim verimlerinin elde edildiği şartlarda 1000 mL numune hacminde imhoff hunisinde çökelme işlemi (a) başlangıç aşaması, (b) 30 dakika sonunda çökmüş çamur.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Atıksu arıtımında kullanılan kimyasal koagülant maddeler	16
Çizelge 2.2. Atıksu arıtımında kullanılan doğal koagülant maddeler	16
Çizelge 3.1. Jar testi çalışmasında kullanılan koagülant türleri ve jar testi uygulama koşulları	28
Çizelge 4.1. Antalya OSB atıksu arıtma tesisi dengeleme havuzu çıkış atıksu karakterizasyonu ve atıksuyun alıcı ortama deşarj standart değerleri ...	30
Çizelge 4.2. Antalya OSB atıksu arıtma tesisi dengeleme havuzu çıkış atıksu metal içeriği ve atıksuyun alıcı ortama deşarj standart değerleri	31
Çizelge 4.3. Klasik ve alternatif koagülantların Antalya OSB atıksuyundan AKM giderim verimleri üzerine farklı pH değerlerinde ve farklı koagülant dozlarında etkileri	32
Çizelge 4.4. Klasik ve alternatif koagülantların Antalya OSB atıksuyundan KOİ giderim verimleri üzerine farklı pH değerlerinde ve farklı koagülant dozlarında etkileri	38
Çizelge 4.5. En iyi KOİ giderim verimlerinin elde edildiği şartlarda her bir koagülant için elde edilen çöken çamur miktarları ve SVI değerleri	46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AKM	Askıda katı madde
Alüm	Alüminyum sülfat
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
ÇOK	Çözünmüş organik karbon
DOM	Doğal organik madde
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
OSB	Organize sanayi bölgesi
SKKY	Su kirliliği kontrolü yönetmeliği
TAKM	Toplam askıda katı madde
TKM	Toplam katı madde
TKOİ	Toplam kimyasal oksijen ihtiyacı
TP	Toplam fosfor



1.GİRİŞ

Çevre canlıların birbirlerini dolaylı ya da doğrudan etkileyerek birbirleri üzerinde sosyal, fiziksel, kimyasal ve biyolojik anlamda kalıcı etkiler oluşturmaları şeklinde tanımlanabilir (Keleş ve Ertan, 2002; Öztürk, 2017). Bu tanım, Dünya Sağlık Örgütü tarafından “İnsan dışındaki tüm, kimyasal ve biyolojik faktörler” olarak ifade edilmiştir (Alparslan, 2009; Öztürk, 2017).

Çevre kirliliği; doğanın en önemli maddeleri olan suyun, havanın ve toprağın üzerinde olumsuz etkilerin meydana gelmesi ve canlı varlıkların hayatta kalabilmesi için gerçekleştirdikleri faaliyetlerin, engellenmesine sebep olan çevre sorunlarının oluşmasına yol açan olaydır (Öztürk, 2017). Çevre kirliliği; su, hava, toprak ve gürültü kirliliği olarak 4 gruba ayrılır.

Su, tüm canlıların yaşam şartlarını oluşturan başlıca kaynaklardan bir tanesidir. İnsanların yaşamlarını sürdürebilmesi için yaşamsal gereksinimlerini karşıladıkları suya içme ve kullanma suyu denir. Su kaynakları yüzey ve yer altı su kaynakları olarak ikiye ayrılmaktadır. Su doğal ve çok fazla bulunan bir kaynak olmasına rağmen sınırsız bir kaynak değildir ve hızla tükenmektedir. Temiz su kaynaklarının devamlılığının sağlanması dünyanın geleceği açısından önem taşımaktadır (Şenel, 2017).

Son yıllarda giderek artan çevre sorunlarından bir tanesi yüzeysel ve yeraltı sularının kirlenmesi problemdir. Hızla artan nüfus ve sanayileşmenin sonucu olan artan çevre kirliliği denizler, göller, akarsular gibi su alanlarının ayrıca yeraltısularının kirlenmelerine de sebep olmuştur. Yerleşim bölgelerinde ve endüstri bölgelerinde su kullanımı sonucunda önemli miktarlarda atık yük taşıyan kirli sular ortaya çıkar. Bu suların belirli düzeylerde arıtılmaması, diğer bir deyimle atık yük miktarları azaltılmadığı takdirde doğal sulara bırakılması durumunda, bu sistemlerin kendilerini yenileme kapasitesinin üzerinde atık maddeler ile bulaştırılması sonucu su kalitesi şiddetle bu değişimden etkilendiği gibi su yaşamı da zarar görür.

Su kirliliğine sebep olan başlıca nedenler; organik maddeler, ağır metaller, besleyici tuzlar, radyoaktivite, mikroorganizmalar, yağlar-petrol türevleri, anorganik maddeler, askıdaki katı maddeler, pestisitler ve deterjanlardır.

Yüzeysel ve yeraltı sularının kirlenmesi evsel, endüstriyel ve tarımsal aktivitelerden kaynaklanabilmektedir. Gelişen sanayi ile birlikte artan bu çevre sorunun en büyük nedeni endüstriyel kuruluşların atıklarının arıtılmadan akarsulara verilmesi veya bu atıkların toprağa gömülmesi sonucu bu atıklar yağmur sularına karışarak yeraltı sularının kirlenmesine sebep olabilmektedir. Kontrolsüz olarak alıcı ortama deşarj edilen atıksular ekolojik açıdan ciddi bir tehlike oluşturmaktadır. Canlı yaşamını olumsuz yönde etkileyen bu kirlenmenin bir nebze önüne geçilebilmesi için sanayi kuruluşlarının gerek bireysel gerekse organize sanayi bölgelerinin atıksu arıtma tesisleri olmalıdır. Endüstriyel atıksuyun arıtılması işlemi hem bilgi ve tecrübe, hem de maliyet gerektiren bir işlemdir. Endüstriyel atıksuyun arıtılma prosesleri, atıksuyun karakterizasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bazı endüstrilerin atıksuları biyolojik olarak parçalanabilirken bazı atıksular biyolojik olarak parçalanamayan maddeler içerir ve bunların arıtılması için ileri arıtma proseslerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Endüstriyel atıksuların arıtımında genellikle kimyasal arıtma teknolojileri kullanılmaktadır. Kimyasal arıtma, atıksuyun arıtımı için kullanılan ayrı bir işlem olarak görülebilir veya biyolojik bir arıtma için önceki bir işlem olabilir. Kimyasal atıksu arıtım yöntemleri; kolay işletme, hızlı işletmeye alınma ve nispeten daha yüksek verimler elde etme gibi özelliklerinden ötürü son zamanlarda daha fazla ilgi hak etmektedir (Kıpkıp, 2006). Kimyasal arıtma proseslerinin performans ve arıtma verimliliği atıksu karakterizasyonu, kullanılan kimyasal madde türü ve ortam şartlarından etkilenmektedir. İyon değişimi, koagülasyon ve flokülasyon, adsorpsiyon, kimyasal oksidasyon kimyasal arıtma teknolojileri arasında yer almaktadır.

İyon değişimi sıvı içindeki anyon ve katyonların, katı yüzeyindeki fonksiyonel gruplara elektrostatik güçlerle bağlı benzer anyon ve katyonlar ile yer değiştirmesi esasına dayanan fizikokimyasal bir prosestir. Bu yer değiştirme olayı aynı değerlikli iyonlar arasında meydana gelen bir denge olayıdır ve çoğunlukla geri dönüşlü olarak

gerçekleşir. İyon değiştirme yöntemi, sert sularda bulunan kalsiyum ve magnezyumun sodyumla yer değiştirmesine dayanan su yumuşatma işleminde kullanılmaktadır (Bildi, 2015).

Adsorpsiyon, bir yüzey veya arakesit üzerinde maddenin birikimi ve derişiminin arttırması olarak tanımlanabilir. Bu işlem herhangi iki değişik fazın ara kesitinde (SIVI-SIVI, gaz-SIVI, gaz-katı, SIVI-katı gibi) meydana gelebilir. Yüzeyde tutulan maddeye “adsorplanan” veya “adsorbat”, yüzeyinde tutanlara “adsorban” veya “adsorbent” denir. Adsorpsiyon sulardan özellikle organik kirleticilerin gideriminde kullanılan önemli bir metottur. Yaygın olarak kullanılan adsorban madde ise aktif karbondur (Kav, 2011).

Kimyasal oksidasyon, organiklerin oksidatif olarak parçalanması için hidroksil radikallerinin (OH-) üretilmesi prensibine dayanmaktadır (Loraine ve Glaze, 1992).

Su ve atıksu arıtımında kimyasal oksidasyon kullanılmasının amacı istenmeyen kimyasal maddelerin zararsız hale dönüştürülmesidir. Kimyasal oksidasyon ile anorganik maddeler ve organik maddeler (fenoller, aminler, hümik asitler, ve diğer renk, tat ve koku oluşturan bileşikler, bakteriler, alger ve toksik bileşikler) arıtılabilmektedir. Bu amaçla oksijen, ozon, hidrojen peroksit vb. gibi oksidasyon maddeleri kullanılmaktadır (şengül ve Küçükgül, 1997).

Atıksu arıtımında en yaygın kullanılan yöntemlerden biri de koagülasyon ve flokülasyon yöntemidir. Çeşitli organik ve/veya inorganik kimyasallar ekleyerek kolloid parçacıkların durağan hallerinin bozulması ve sonuçta tek başına çökemeyen bu parçacıkların bir araya gelerek kolayca çökebilen kümeler haline dönüşmesi işleminin bütünü koagülasyon ve flokülasyon olarak tanımlanır (Faust ve Aly, 1983).

Bu proseslerin amacı kolloidlerin çöktürülerek sudan uzaklaştırılmasıdır. Koagülasyon-flokülasyon prosesi ile çöktürülebilecek kolloidlerin çapı 1 mikron ile 1 milimikron arasında değişir. Suyun içindeki askıda maddelerin çoğu kolloidal yapıdadır. Buda bulanıklık ve rengin sebebidir. Kolloidal maddeler negatif yük taşırlar. Bu yüzden demir, alüminyum gibi üç değerli metal tuzlar kullanılarak koagüle edilirler.

Kolloidler, tanecik yapıyı oluşturan moleküllerin uç kısmında bulunan reaktif grupların ayrışması veya su ortamında bulunan iyonların tanecik yüzeyinde adsorplanması ile meydana gelen ve birincil yük olarak adlandırılan bir elektriksel yüke sahiptir. Atıksu arıtımında karşılaşılan kolloidlerin çoğunun birincil yükü negatiftir. İçinde kolloid parçacıkların bulunduğu bir su kütleinin net bir elektrik yükü yoktur. Bu nedenle (-) yüklü kolloid parçacıklar su kütlesi içerisindeki (+) yüklerle dengelenmektedir. Bu denge nedeniyle, kolloidler birbirlerine yaklaşamaz ve durağan halde kalırlar. Koagülasyon işlemi, parçacıkların birbirlerinden uzak durmasını sağlayan bu kuvvetlerin nötralize edilmesiyle kolloid stabilizasyonunun bozulmasıdır. Katyonik koagülantlar atıksu ortamında pozitif elektrik yükü sağlayarak kolloidler üzerindeki negatif yükü (zeta potansiyeli) azaltırlar.

Sonuçta, kolloid parçacıklar flok olarak adlandırılan daha büyük parçacıklar oluşturmak üzere çarpışırlar. Koagülasyon işlemi, atıksu arıtma tesislerinin en önemli aşamasıdır ve sadece kolloidlerin destabilizasyonunu değil, aynı zamanda bazı ağır metallerin ve florürün uzaklaştırılmasını da sağlar (Akyatan, 2010).

Suların kimyasal koagülasyon prosesinin organik ve inorganik olarak oluşmuş bulanıklığın giderimi, çeşitli faaliyetler sonucu oluşmuş sudaki rengin giderimi, suda bulunan bakterilerin, alglerin giderimi, kokunun uzaklaştırılması, fosfat giderimi, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve askıda katı madde (AKM) parametrelerinin giderimi ve metallerin uzaklaştırılması gibi kullanım amaçları vardır.

Kimyasal arıtma işlemini gerçekleştirmek amacıyla değişik kimyasal maddeler kullanılabilir. Kimyasal çöktürme işlemiyle arıtılmış su elde edilirken, AKM parametresi için %80-90, BOİ parametresi için %40-70, KOİ parametresi için %30-60 giderim verimi sağlanabilmektedir.

Arıtma verimi giderilecek parametre, kullanılan kimyasal madde, alıkonma süresi, karışım şiddeti gibi faktörlerden etkilenmekte; oluşan çamur miktarı kimyasal madde türüne göre değişmektedir.

Koagülasyon ve flokülasyon işleminde kullanılan koagülant madde önemlidir. Al(III) ve Fe(III) bazlı tuzlar, düşük maliyetli ve bol kullanılabilirlik nedeniyle su ve atıksu arıtımında en sık kullanılan koagülantlardır.

Demir tuzları atıksu arıtımında çok sık olarak kullanılır. Demir klorür ($FeCl_3$), likit ve katı halde satılabilirler. Demir sülfat da ($FeSO_4$) ekonomik bir kimyasaldır ve atıksu arıtımında sıklıkla kullanılırlar.

Alüminyum tuzları, alüminyum sülfat (alüm) en sıkça kullanılan kimyasaldır. Demir tuzları kadar verimi yüksek değildir. Alüminyum hidroksit floklarının yoğunluğu demir tuzlarına göre daha azdır ve bu yüzden çökmesi daha yavaştır. Bu durum çöktürme havuzlarındaki bekleme süresini uzatır.

Bu kimyasalların düşük maliyetli olmasına karşın bu maddelerin oluşturdukları atık çamur miktarları fazladır ve bu tesisler için ekstra maliyet oluşturmaktadır. Asidik olan bu kimyasalların tam verimle koagülasyona katılabilmeleri için etkin oldukları pH aralıkları dardır. Fe(III) tuzları pH 6-9 arası etkili olmasına karşın optimum pH değeri 6,5'dir. Al(III) tuzları ise pH 5,5-7,8 arası etkili olmaktadır.

Klasik koagülantların oluşturdukları kimyasal çamurun fazla olması arıtma tesisleri için büyük bir sorun teşkil eder. Çünkü tehlikeli atık olarak adlandırılan bu arıtma çamurlarının stabilizasyonu ve bertarafı oldukça maliyetlidir. Aynı zamanda bu kimyasalların etkin pH aralıkları dar olduğundan dolayı bu kimyasallara alternatif olarak yeni koagülant madde arayışları başlamıştır. Alternatif koagülant madde arayışlarındaki amaç; daha düşük maliyetli, daha yüksek verimli ve de en az kimyasal arıtma çamuru oluşturan yeni koagülant maddeler bularak atıksu arıtma tesisleri için klasik koagülantlara karşı seçenek oluşturmaktır.

Akyatan (2010), organize sanayi bölgesi atıksularının magnezyum flokülasyonu ile arıtılabilirliğini klasik koagülantlara göre karşılaştırarak araştırmıştır. Magnezyumun, askıda katı madde ve renk gideriminde etkili olduğu gözlenmiştir. Fakat KO_2 gideriminde istenilen verimler elde edilememiştir.

Son yıllardaki araştırmalar, zirkonyum oksiklorürün ($ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$) güçlü flok oluşumuna sebep olduğunu göstermiştir. Bu yeni koagülant, su arıtımı üzerine belirgin etkilerini göstermiştir. Çalışmalar zirkonyumun suda, demir bazlı koagülantlara göre daha düşük çözünmüş organik karbon (ÇOK) kalıntısı sağlayabildiğini belirtmektedir (Priya vd., 2017). Diğer bir çalışmada (Chekli vd., 2017), konvansiyonel demir tuzlarına alternatif olarak titanyum bazlı koagülantların performansları deniz suyundan algal organik madde giderimi için araştırılmıştır. Klasik koagülant olan $FeCl_3$ 'e göre, titanyum tuzlarının bulanıklık ve ÇOK giderimi yönünden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Bir koagülant olarak titanyum tetraklorür ($TiCl_4$) kullanılmasının önemli avantajı, floklanmış çamurun, geleneksel koagülantlarla mümkün olmayan, ısıl işleme değerli bir yan ürün, yani titanyum dioksid (TiO_2) üretmek üzere geri kazanılabilmesidir (Shon vd., 2007; Shon vd., 2009).

İçme suyu arıtma tesislerinde kimyasal koagülant madde olarak son yıllarda araştırılmış ve denenmiş titanyum ve zirkonyum tuzları klasik koagülantların aksine çamur oluşumunda azalma sağlamış ve geniş pH aralıkları sayesinde çalışılması kolay koagülant maddeler olduğu görülmüştür. Titanyum ve zirkonyum bileşikleri koagülant madde olarak kullanıldıklarında toksik olmadığı, sağlık ve çevre için bilinen riskleri taşımadığı bildirilmiştir (Hussain vd., 2014). Son zamanlardaki araştırmalar zirkonyum ve titanyum tuzlarının arıtma çamurundan madde geri kazanımının da mümkün olduğunu göstermiştir. $Ti(IV)$ ve $Zr(IV)$ koagülant olarak kullanımı, düşük maliyet ve ticari olarak kullanım olasılıkları nedeniyle su endüstrisinin dikkatini çekmiştir (Hussain vd., 2014).

Son yıllarda koagülant olarak ilgi çeken zirkonyum ve titanyum tuzları, genellikle su arıtımında alternatif koagülant olarak test edilmiş; bununla birlikte atıksu arıtımı üzerindeki performansları sınırlı sayıda çalışmada ele alınmıştır. Bu sınırlı sayıdaki çalışmalarda ise; gerçek atıksu yerine sentetik atıksu (Okour vd., 2009; Okour and Ahmad, 2018) çalışılmış olup, klasik koagülantlara karşı performans değerlendirmeleri gerçekteştirilmemiştir (Aziz vd., 2018).

Bu kapsam dâhilinde tez çalışmasında endüstriyel atıksu arıtımında zirkonyum ve titanyum bazlı koagülant maddelerin performansları, klasik koagülantlara karşı değerlendirilmiştir. İlk olarak; organize sanayi bölgesinden alınan endüstriyel atıksuyun karakterizasyonu belirlenmiştir. İkinci olarak; endüstriyel atıksuyun kimyasal arıtımı üzerine $TiCl_4$, $ZrCl_4$ ve $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ alternatif koagülantlarının performansları klasik koagülantlar olan $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $FeCl_3$ 'e göre değerlendirilmiştir. Performanslar AKM ve KOİ giderim verimleri için değerlendirilerek, en iyi giderim verimlerinin elde edildiği deney şartları belirlenmiştir. Son olarak; en iyi giderim verimlerinin gerçekleştiği doz ve pH değerlerinde numuneler İmhoff hunilerinde çökeltme işlemine tabi tutularak, kullanılan her bir koagülant için oluşan çamur miktarları ve çamur hacim indeksi değerleri belirlenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Atıksu Kaynakları ve Atıksu Arıtma Metotları

Evsel ve endüstriyel faaliyetler sonucu kirletilmiş, çevreye ve insana zararlı sulara atıksu denir. Atıksular iki ayrı gruba ayrılır;

- Evsel atıksular
- Endüstriyel atıksular

Yerleşim yerlerinde evsel hanelerden oluşan endüstriyel atıksu içermeyen atıksulara evsel atıksular denir. Evsel atıksular, askıda koloidal ve çözünmüş halde organik madde içerirler. Atıksuyun konsantrasyonu, kullanılan suyun kirletilmeden önceki orijinal konsantrasyonuna ve suyun kullanılış amacına bağlıdır. Gerek iklimsel şartlar, gerekse de insanların yaşam standartları ve kültürleri atıksuyun karakteristiğini önemli ölçüde etkiler (Alp, 2005).

Evsel atıksular fiziksel arıtma, biyolojik arıtma ve ileri arıtma üniteleriyle arıtılabilmektedir. Evsel atıksular genellikle biyolojik olarak parçalanabilen atıksulardır ve arıtmak için kimyasal işlemlere gerek duyulmaz.

Sanayi faaliyetleri sonucu kirletilen atıksulara endüstriyel atıksular denir. Endüstriyel atıksular endüstri türüne ve kullanılan hammaddeye göre değişiklik gösterir.

Endüstrilerde aynı zamanda proseste, proses dışında ve çalışanların ihtiyaçları doğrultusunda atıksu oluşmaktadır. Proseste oluşan atıksular, proseslerde su kullanımı sonucunda veya proses sırasında oluşan ve kirlenmiş olan atıksulardır.

Proses dışı atıksular; kirlenmemiş veya az kirlenmiş sulardır, ısıtma ve soğutma suları gibi. Çalışanların kullanımı sonucu oluşan atıksular ise evsel kaynaklı tuvalet ve lavabolarda kullanım sonucu oluşmuş atıksulardır.

Atıksular,

- Fiziksel arıtma

- Kimyasal arıtma
- Biyolojik arıtma
- İleri arıtma olarak, 4 bölümde arıtılır.

Fiziksel arıtma; ızgaralar, elekler, kum ve yağ tutucular, dengeleme havuzlar, yüzdürme havuzları, yüzer madde tutucular ve çökeltim havuzlarını içerir.

Kimyasal arıtma; koagülasyon-flokülasyon, çöktürme, nötralizasyon, kimyasal oksidasyon ve adsorbsiyon işlemlerini içerir.

Biyolojik arıtma; aerobik ve anaerobik lagünler, aktif çamur, damlatmalı filtreler, döner biyodiskler, anaerobik arıtma, stabilizasyon havuzları, işlemlerini içerir.

İleri arıtma; membran prosesler, adsorpsiyon, iyon değiştirme, kum filtrasyonu, nitrifikasyon ve denitrifikasyon üniteleri kullanılmaktadır.

2.1.1. Fiziksel arıtma

Fiziksel arıtma atıksuyun biyolojik ve kimyasal arıtma ünitelerine gelmeden önce katı, yüzebilen ve çökebilin inert maddeleri diğer ünitelerdeki ekipmanlara zarar vermemesi için ve bu ünitelere fazla yük gelmemesi için atıksudan ayırma yöntemlerini içerirler.

Fiziksel arıtma ızgaralar, elekler, kum ve yağ tutucular, dengeleme havuzlar, yüzdürme havuzları, yüzer madde tutucular ve çökeltim havuzlarını içerir.

2.1.2. Biyolojik arıtma

Biyolojik arıtma, atıksu bünyesindeki organik maddelerin bakteriyolojik işlemlerle ayrıştırılarak sudan giderilmesi esasına dayanan bir arıtma yöntemidir. Azot ve fosfor bileşiklerinin doğal çevreye olan zararlı etkilerinin ortaya çıkması ile birlikte biyolojik arıtma yöntemi kullanımı artmıştır. Biyolojik arıtma yöntemi aktif çamur sistemleri, damlatmalı filtreler ve ardışık kesikli reaktörlerde etkili biçimde uygulanmaktadır (Kavak, 2016).

Atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılan biyolojik prosesler aerobik oksidasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimidir (Demir, 2012). Evsel atıksulardan karbon, azot ve fosfor giderimi; düşük maliyet ve daha az atık çamur oluşumu gibi özelliklerinden dolayı biyolojik nütrient giderim aktif çamur sistemleri ile yapılmaktadır (Vaiopoulou ve Aivasidis, 2008).

Biyolojik arıtma sistemleri değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Ortamda oksijen varlığına göre havalı (aerobik) ve havasız (anaerobik) olarak sınıflandırılan bu sistemler kullanılan mikroorganizmaların sistemdeki durumuna göre askıda ve sabit film (biyofilm) prosesleri olarak da sınıflandırılabilirler (Dokuz Eylül Üniversitesi, 2019).

2.1.3. Kimyasal arıtma

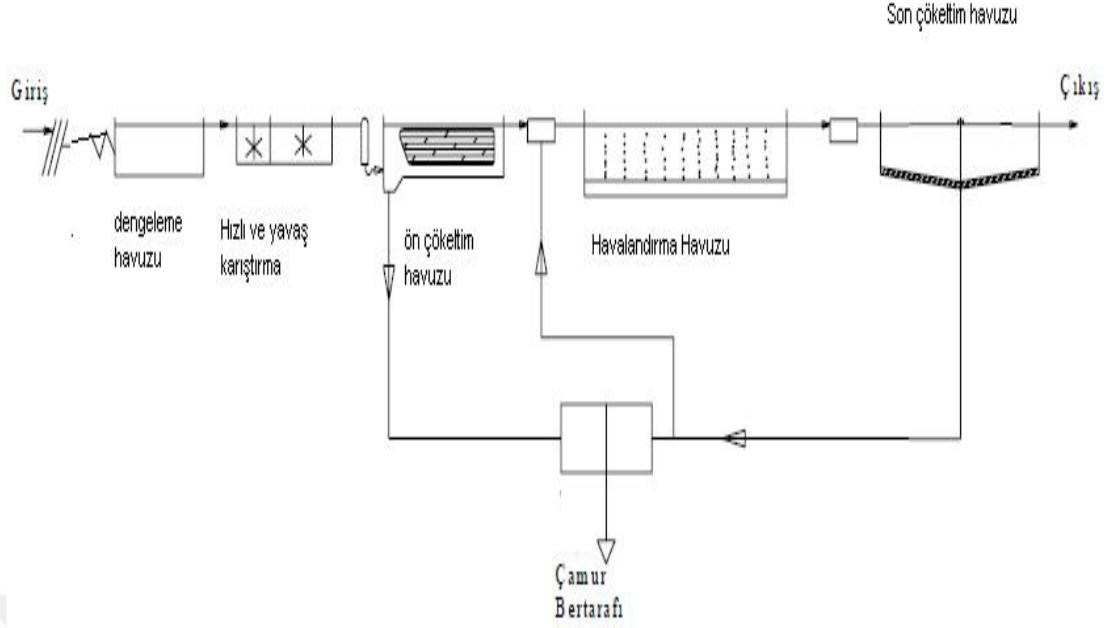
Kimyasal arıtmanın amacı, suda çözünmüş halde bulunan kirleticilerin kimyasal reaksiyonlarla çözünürlüğü düşük bileşiklere dönüştürülmesi ya da koloidal ve askıdaki maddelerin yumaklar oluşturarak çökeltilmesi suretiyle giderilmesidir. İyi projelendirilmiş bir kimyasal arıtma işlemi ile askıda madde, metal iyonları, renk koku, yağ-gres gibi kirleticilerin giderilmesi ile %25-35 BOİ ve %70-90 KOİ giderim verimleri sağlanabilmektedir (Çevre Mühendisliği, 2012).

2.2. Organize Sanayi Bölgesi Atıksuları

Organize sanayi bölgeleri (OSB), sanayiden kaynaklanan çevresel problemlerin minimum düzeye indirilmesi veya ortadan kaldırılması, ekonomik açıdan farklılaşan bölgeler arası dengeli kalkınmanın sağlanmasını amaçlayan modellerdir. Farklı endüstri dallarına ait fabrikaların yoğun bir şekilde toplandığı bölgenin çevre açısından bir tehdit unsuru olabildiği, OSB'lerinde görülen çevre sorunlarının, tekil bir endüstrinin ortaya çıkardığı genel çevre sorunlarından farklı olmadığı, ancak 3 kirliliğin (sıvı, katı ve gaz atıklar) miktar ve çeşitliliği yönünden farklılık gösterdiği söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle OSB'lerinin çevre kirliliği açısından ele alınması ve değerlendirilmesi gerekmektedir (Akyatan, 2010).

Türkiye’de kurulan ve kurulacak olan Organize Sanayi bölgelerinin atıksularını Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’nde belirtilen parametreler ve konsantrasyonlarına göre arıtması zorunluluğu vardır. Organize sanayi bölgelerinde atıksuların arıtılması için ortak arıtma veya nihai arıtma tesisi Şekil 2.1’de gösterildiği üzere; fiziksel, kimyasal (koagülasyon, flokülasyon ve çökeltme ünitelerini içeren) ön arıtma ve bunu takip eden biyolojik aktif çamur proseslerinden oluşmaktadır (Akyatan, 2010). Bu konfigürasyonda bir ortak arıtma tesisinde arıtılabilecek atıksu özelliklerinin sağlanabilmesi için gerekli görülen sektörlerin ön arıtma yapılarının sağlanması ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Buna rağmen OSB ortak arıtma tesisinde biyolojik aktif çamur ünitesinin yükünü azaltmak için aynı zamanda zor parçalanabilir ve toksik olabilecek bazı bileşenlerin giderimi için koagülasyon-flokülasyon işlemi yaygın bir ön arıtma metodu olarak uygulanmaktadır. Koagülasyon-flokülasyon işlemindeki en önemli noktalardan bir tanesi koagülant seçimidir. Koagülantlar, çeşitli atıksu türleri için farklı etki yapabilmektedirler. Bundan dolayı; koagülant seçimi yapılmadan önce, atıksuyun numunesi alınır ve laboratuvar ortamında analizleri yapılır. Atıksuyun içerisinde bulunan kolloidal partiküllere ve atıksuyun karakteristik özelliklerine göre mikro ölçekte koagülant uygulaması yapılır. Bu şekilde, atıksu arıtımı için doğru koagülant seçimi yapılmış olur.

Organize sanayi bölgeleri atıksularının arıtılmasında aktif çamur prosesinin sınırlarının dar olmasından dolayı ön arıtma son derece kritik bir öneme sahiptir. Çok farklı sektörlerin birleşiminden oluşturulan bu bölgelerdeki sanayilerden kaynaklanan her türlü atıksuyu aktif çamur metodu ile arıtılabilir düzeye getirebilecek tek bir ön arıtma metodu yoktur. Organize sanayi bölgeleri için sektörel dağılımların dolayısı ile atıksu özelliklerinin dikkate alınarak çeşitli ön arıtma metotlarının araştırılmasında büyük fayda vardır (Akyatan, 2010).



Şekil 2.1. Organize sanayi bölgesi atıksu arıtma tesisi akım diyagramı (Akyatan, 2010)

2.3. Koagülasyon-Flokülasyon

Koagülasyon-flokülasyon; flok oluşturan kimyasal bir reaktif, çökelemeyen katılarla birleştirmek ve yavaş çökelen askıda katıları hızlı çökeltmek için su ve atıksuya bu kimyasal reaktifin ilavesini içeren bir prosestir (Dinç, 2011). Koagülasyon ve flokülasyon, su ve atıksu ortamında askıda ve koloidal haldeki maddelerin yumaklar haline getirilmesi anlamına gelmektedir. Oluşan bu yumaklar, daha sonra çökeltme ile sudan uzaklaştırılmakta ve sudaki koloidal ve askıdaki kirlilikler giderilmektedir (Küçükgül ve Türkman, 2004; Çelik, 2011).

Koagülasyon-flokülasyon işlemi ön işlem, son işlem ve hatta ana işlem olarak kullanılabilir. Bu işlem düşük maliyetlidir, kullanımı kolaydır ve alternatif işlemlerden daha az enerji harcar (Szygula vd., 2009).

Koagülasyon-flokülasyon işleminde kullanılacak olan kimyasal maddenin dozunu ve pH'ını belirlemek için jar testi deneyi kullanılır. Ancak atıksuyun karakterizasyonunda değişiklik meydana gelirse jar testi tekrarlanmalıdır. Jar testlerinden elde edilen sonuçlar sadece prosesi anlamada değil, aynı zamanda tesis dizaynına, işletmesine ve modifikasyonuna uygulanabilmektedir.

Koagülasyon-flokülasyon prosesi, 3 bölümden meydana gelmektedir. İlk olarak koagülant ilavesi ile hızlı karıştırma, ikincisi polielektrolit ilavesiyle yavaş karıştırma ve son olarak oluşan yumakların çökeltilmesi için çökeltme işlemlerinden oluşmaktadır. Hızlı karıştırma işlemi ile koagülant maddenin suya hızlı bir şekilde homojen olarak dağılması sağlanır. Bu işlem oldukça kısa olmakla birlikte 15 sn-5 dak arasında gerçekleşebilir. Ancak süre uzadıkça oluşan yumakların kırılması söz konusu olabilir. Bu uygulamada hız 200-300 dev/dak arasında kullanılabilir. Yavaş karıştırma işlemi taneciklerin bir araya getirilip yumakların daha büyük hale getirilmesi için yapılır. Karıştırma genellikle 15-45 dak arasında ve 20-120 dev/dak arasında gerçekleştirilmektedir. Oluşan yumakların çökerek uzaklaştırılmaları için çökeltme süresi 30-60 dak arasındadır (Özyonar, 2007).

2.3.1. Koagülasyon (Hızlı karıştırma)

Koagülasyon, kimyasal arıtma prosesinin ilk adımıdır ve hızlı karıştırma olarak da adlandırılır. Suya kimyasal madde katılarak, kolloidal ve askıda katı maddelerin destabilize edilmesine ve destabilize edilmiş katı maddelerin birleşmesine koagülasyon denmektedir (Dinç, 2011).

Atıksu arıtımında, kolloidal maddelerle askı hâlindeki çok küçük taneciklerin çökmesini kolaylaştırmak için suya ilave edilen kimyasal maddelere koagülant (pıhtılaştırıcı) denilmektedir. Koagülasyon prosesi ise koagülantların atıksuya ilave edilmesini takiben hızlı bir şekilde atıksuya karıştırılmaları ve atıksuyun bünyesindeki kolloidal ve askıda katı maddelerle birleşerek flok oluşturmaya hazır hâle getirilmesi için yapılan işlemlerdir.

Sudaki kolloidal partiküller oldukça küçük boyutta (1-200 nm) olup Brownian hareket kanununa göre hareket ederler. Bu hareketin enerjisi partiküllerin yerçekimi kuvveti karşısında çökmesine engel olmaya yeterlidir. Böylece partiküller uzun süre askıda kalabilirler. Koagülasyon işlemi ile öncelikle partiküllerin askıda kalmasını sağlayan kararlı yapıları bozular, aralarındaki itme kuvvetleri azaltılarak van-Der Waals kuvvetlerinin etkisi fazlalaştırılır. Daha sonra partikülleri bir araya getirerek çökebilecek boyutlara getirmek için yumaklaştırma işlemi uygulanır (Akanser, 2010).

İyi tasarımılanan bir hızlı karıştırma prosesi, gerekli olan kimyasal miktarının azalmasına ve flokülasyon ünitesinin veriminin artmasına sebep olacaktır. Etkili bir koagülasyon yapabilmek için, su kütlesi boyunca üniform olarak koagülantın hızlı dağılımı gereklidir. Böylece koagülant, sudaki bütün askıda katı maddelerle ilişki kurar (Dinç, 2011).

2.3.1.1. Kolloidin stabilitesinin bozulması (Destabilizasyon)

Bir atıksuya bir koagülant ilave edilmesi kolloidin stabilitesini bozar. Bu oldukça karmaşık bir kimyasal olaydır. Koagülantlar kolloidlerin stabilitesini farklı şekillerde bozarlar. Kolloidal maddelerin taşıdıkları elektriksel yükün ortadan kaldırılarak kolloidin kararlılığının bozulmasına destabilizasyon denir. Dört farklı destabilizasyon yöntemi vardır (Karcıoğlu, 2009). Bunlar; çift tabakanın sıkıştırılması, adsorbsiyon ve yük nötralizasyonu, kolloid parçacıkların tortu içerisinde tutulması ve adsorbsiyon yoluyla kolloid parçacıklar arasında köprü kurma'dır.

- Çift tabakanın sıkıştırılması: Bu işlemde kullanılacak olan koagülantın kolloidin yükü ile ters yüklü olması gerekmektedir. Bu ters yükler yardımıyla kolloidin etrafındaki difüze tabakanın sıkıştırılması sonucu destabilizasyon sağlanır. Negatif yüklü kolloidlerin destabilizasyonu için Na^+ , Ca^{+2} ve Al^{+3} gibi iyonlar kullanılır. Kullanılacak miktarlar iyonun elektriksel yüküne göre değişir. Örneğin Al^{+3} değerlikli olduğu için daha az kullanılmaktadır. Sistemde çözeltideki yüksek elektrolit derişimleri, difüze tabakada ters yüklü iyonların yüksek derişimine yol açar. Bu durum difüze tabakanın kalınlığı azaltılır. Böylece benzer kolloid tanecikler arasındaki itme kuvveti azalır ve aktivasyon enerji engeli ortadan kalkar.

- Adsorbsiyon ve yük nötralizasyonu: Koagülant olarak su ortamına eklenen bazı kimyasallar kolloid parçacıklar yüzeyine adsorb olabilirler. Parçacık üzerine adsorb olan kimyasal eğer kolloid parçacığın elektriksel yüküne zıt yük taşıyorsa parçacığın yükünü nötrleştirir ve durağan halini bozar. Al(III) ve Fe(III) bileşiklerini adsorbsiyon yöntemiyle koagülasyonda yaygın olarak kullanılır.

- Kolloid parçacıkların tortu içerisinde tutulması: Belirli bir metal tuzu suya eklendiğinde, metal hidroksit formunda hızlı bir tortu oluşumu gözlenir. Kolloid parçacıklar ya bu tortuların çekirdeğini oluşturarak ya da tortu yığınları içerisinde

kalarak durağan halden çıkarlar ve bir sonraki aşama olan çöktürme sırasında sudan uzaklaştırılırlar. $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $MgCO_3$ ve $Ca(OH)_2$ gibi koagülantların hidrolize olmaları sonucu oluşan ve suda çözünmeyen $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, $Mg(OH)_2$ ve $CaCO_3$ gibi bileşikler bu tür bir koagülasyonu gerçekleştirir. Bu tür koagülasyon süpürme koagülasyon olarak adlandırılır. Durağanlığın bozulması için elektriksel yüklerinin nötrleştirilmesine gerek yoktur. Tortu içerisinde tutma yönteminin önemli bir dezavantajı düşük kolloid konsantrasyonlarında bu yöntemin optimum olmayışıdır. Düşük konsantrasyondaki kolloid parçacıkları tortu içerisinde tutmak için fazla miktarda koagülanta gereksinim vardır. Yüksek konsantrasyonda parçacıklar tortu çekirdeği işlevi göreceğinden az miktarda bir tortu oluşumu dahi yeterli oranda koagülasyonu gerçekleştirecektir.

- Absorbsiyon yoluyla kolloid parçacıklar arasında köprü kurma: Nişasta, selüloz, polisakkaritler ve protein içeren birçok doğal bileşikler ve sentetik polimerler oldukça işlevsel koagülantlardır. Büyük boyutlu moleküllerden oluşan bu tür bileşikler hem (-) hem de (+) yüklü taşıyan karbon gruplar içerirler. Bu tür bileşiklerin moleküler olarak dallanmış yapıları vardır ve dallanma yoluyla bir ya da birkaç uçlarından kolloid parçacığına yapışabilirler. Bu yapışma zıt yüklerin birbirini çekmesinden dolayı ortaya çıkar. Öte yandan bileşiğin başta kalan ucu veya uçları su ortamında boşa kalır ve uygun koşullarda bir başka kolloid parçacığına yapışır. İki parçacık arasındaki böylesi bir köprüleme parçacıkların daha büyük kümelere dönüşmesini sağlar. Bu yöntem kullanıldığında fazla miktarda polimer eklenmesinden ya da uzun süreli ve aşırı hızlı karışırtımalardan kaçınılmalıdır. Fazla miktarda polimer eklenmesi sonucu polimerler kolloid parçacığın yüzeyini tamamen sararak diğer parçacıklarla köprü oluşturmasını engelleyebilir. Uzun süreli ve çok hızlı karışırtımlar ise parçacıklar arasında oluşan köprülerin bozulmasına yol açabilir (Eroğlu, 1995).

2.3.1.2. Kullanılan koagülant maddeler

Koagülasyon işleminde kullanılan koagülant madde önemlidir. $Al(III)$ ve $Fe(III)$ bazlı tuzlar, düşük maliyetli ve bol kullanılabilirlik nedeniyle su ve atıksu arıtımında en sık kullanılan koagülantlardır.

Çizelge 2.1. Atıksu arıtımında kullanılan kimyasal koagülant maddeler

Kimyasal Koagülantlar					
Hidrolize Tuzlar	Metalik	Pre-Hidrolize Tuzlar	Metalik	Sentetik Polimerler	Katyonik
Demir klorür		Polialüminyum klorür		Aminometil poliakrilamid	
Demir sülfat		Polidemir klorür		Polialkilen	
Magnezyum klorür		Polidemir sülfat		Poliamin	
Alüminyum sülfat		Polialüminyum demir klorür		Polietilemin	
		Polialüminyum sülfat		Polidialildimetil amonyum klorür	

Çizelge 2.1’de verilen koagülant türlerine ek olarak, son yıllarda su ve atıksu arıtımında kullanılan yeni kimyasal koagülant maddeler araştırılmaktadır. Bunlar titanyum ve zirkonyum bazlı tuzlardır.

Klasik koagülantlar düşük maliyetli ve kolay ulaşılabilir olmasına rağmen kısıtlı pH aralığında çalışmaları ve fazla miktarlarda çamur oluşturmaları bu koagülantlar için bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Son yıllarda doğal, bitkisel koagülantlar üzerine de çalışmalar artmaktadır. Doğal koagülant maddeler, alüm gibi geleneksel koagülant maddelere göre; daha az miktarlarda kullanılması, düşük sıcaklıklarda etkili olması, inorganik koagülantların birim fiyatlarının yüksek olması, biyolojik olarak parçalanamamasından ve toksite etkilerinden dolayı avantajlı konuma geçmektedir (Sesler, 2014).

Çizelge 2.2. Atıksu arıtımında kullanılan doğal koagülant maddeler

Doğal Koagülantlar		
Bitkisel Kökenli	Hayvansal Kökenli	Mikroorganizma Kökenli
Guar sakızı (guar zamnkı)	Kitosan	Ksantan sakızı
Arap sakızı (arabik zamk)		
Takas somunu ağacı tohum özü		
Kaktüs latifaria özü		
Patates nişastası		

2.3.2. Flokülasyon (Yavaş karıştırma)

Flokülasyon (yumaklaştırma) suda çözünebilen, çok yüksek molekül ağırlıklı organik polimerler kullanılarak taneciklerin bir araya getirilmesi işlemidir. Flokülasyonda, atıksuyun uygun hızda karıştırılması sonucunda koagülasyon işlemi ile oluşturulmuş küçük tanecikler, birbirleriyle birleşir ve kolay çökelebilecek floklar (yumaklar) oluşturulur (Dinç, 2011). Parçacıkların birleşerek çökebilir kümeler haline gelmesi için öncelikle temas halinde olmaları gerekir. Su ortamlarında üç fiziksel mekanizma kolloid parçacıkların hareket etmesine yol açar. Bunlar; Brownion hareketi, akışkan makaslama ve parçalı çökeldir (Karcioğlu, 2009).

- Brownion hareketi (perikinetik flokülasyon): Bu mekanizma kolloid parçacıkların etraflarındaki su molekülleriyle çarpışmaları sonucu hareket etmelerine yol açar. Su ortamındaki termal enerjinin neden olduğu bu taşınım mekanizması termal hareket olarak ta adlandırılır. Zamanla tanecik sayısındaki azalmanın, tanecik sayının karesi ile orantılı olduğu ifade edilmektedir.

- Akışkan makaslama (Ortokinetik flokülasyon): Akışkan makaslama, suyun kütleli olarak hareket ettirilmesi (genelde bir karıştırma mekanizması ile) sonucu kolloid parçacıkları hareket haline getirir ve birbirleriyle temasını sağlar. Flokülasyon tanklarında yavaş karıştırma aracılığıyla oluşturulan bu mekanizma flokülasyonu gerçekleştiren ana unsurdur. Tanecik sayısında azalma hızı; hız gradyanı, tanecik çapı ve tanecik sayısına bağlıdır.

- Parçalı çökeldir: Yer çekiminin ortaya çıkardığı ve su ortamlarında dikey olarak etkili olan bir hareket mekanizmasıdır. Yer çekimi nedeni ile çökelen kolloid parçacıklar farklı çökeldir hızlarına sahiptirler ve hızlı çökelen parçacıklar göreceli olarak daha yavaş çökeldir hızlarında olan parçacıklarla temas haline gelirler (Eroğlu, 1995).

2.3.2.1. Kullanılan flokülant maddeler

Flokülant olarak genellikle polielektrolitler kullanılırlar. Polielektrolitler yüksek molekül ağırlıklı polimerlerdir. İçerdikleri adsorplanabilen gruplardan dolayı partiküller veya yüklü floklar arasında köprü oluştururlar. Alüm veya $FeCl_3$ ile birlikte düşük dozlarda (1-5 mg/L) polielektrolit ilavesi ile büyük floklar (0,3-1 mm) oluşur. Polielektrolitler pH'dan etkilenmeksizin kolloidin etkin yükünü azaltarak

koagülasyonu sağlarlar (Özyonar, 2007). Polielektrolitler anyonik, katyonik ve noniyonik olmak üzere üçe ayrılırlar. Bunlar da kendi içlerinde sıvı ve toz olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Katyonik polielektrolitler (flokülantlar), negatif kolloid veya flokları adsorblar. Çoğunlukla evsel ve endüstriyel nitelikli atıksu arıtma tesislerinde oluşan fazla çamurun (biyolojik veya kimyasal) santifrj dekantör, belt filtre pres veya diğr çamur susuzlaştırılma ekipmanları vasıtası ile susuzlaştırılması sırasında katı madde ile su fazını birbirinden tamamen ayırmak suretiyle, bu ekipmanların maksimum verimde çalışmalarına yardımcı olur (Flochem, 2019a).

Anyonik polielektrolitler, kolloid parçacıklarda anyonik gruplarla yer değıştirerek kolloid ve polimer arasında hidrojen bağına izin verir. Genel olarak kimyasal arıtma ve madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan su arıtma proseslerinde KOİ, AKM, ağır metal ve kolloidlerin arıtımında ve cevher geri kazanımında flokülant olarak kullanılan polielektrolit türevidirler. Çok nadirde olsa bazı istisna proseslerde çamur susuzlaştırma işleminde kullanıldıklarını da görmek mümkündür (Flochem, 2019b).

Noniyonik (iyonik olmayan) polielektrolitler zincir yapılarında şarj bulunmayan yüksüz polielektrolitlerdir. Katı yüzeyleri ile polimerdeki polar gruplar arasında hidrojen bağı ile parçacıkları adsorblayarak floklaşmalarını sağlar. Kullanım alanları ve amaçları anyonik polielektrolitlerle aynıdır. Çöktürme ve flokülasyon işlemleri için kullanılmaktadırlar. Bazı atıksu ve maden faaliyetleri kaynaklı sular, kararlılıkları ve zeta potansiyeli değıerlerine göre flok oluşumu için yüksüz yani noniyonik polielektrolitler ile daha uyumludurlar (Flochem, 2019c).

2.3.3. Çöktürme

Koagülasyon-flokülasyon işlemlerinde oluşan flokların belirli bir bekleme süresince çöktürülmesi işlemidir. Bu işlem sonunda yüzey altından alınan numune ile koagülasyon-flokülasyon işleminin verimi hesaplanabilir.

2.3.4. Koagülasyon-flokülasyon ile arıtma metodunda alternatif koagülantların kullanımı

Endüstriyel atıksuların arıtılmasında, biyolojik aktif çamur ünitesinin yükünü azaltmak için aynı zamanda zor parçalanabilir ve toksik olabilecek bazı bileşenlerin giderimi için koagülasyon-flokülasyon işlemi yaygın bir ön arıtma metodu olarak uygulanmaktadır. Son yıllarda, koagülasyon- flokülasyon proseslerinde kullanılması için klasik koagülant maddelere alternatif koagülant madde arayışı çalışmaları hız kazanmıştır. Alternatif koagülant madde arayışlarındaki amaç; daha düşük maliyetli, daha yüksek verimli ve de en az kimyasal arıtma çamuru oluşturan yeni koagülant maddeler bularak atıksu arıtma tesisleri için klasik koagülantlara karşı seçenek oluşturmaktır.

Hussain vd. (2014), içme suyu arıtımında titanyum ve zirkonyum tuzlarının koagülasyon performanslarını alüm ile karşılaştırmışlardır. Yapılan çalışmada farklı koagülant dozları ve farklı pH aralıkları denenmiştir. pH 4,5 değerinde ÇOK ve renk giderim verimleri, sırasıyla $ZrCl_4$ kullanıldığında %61,4 ve %92,1, $TiCl_4$ kullanıldığında %44,1 ve %84,2 ve alüm kullanıldığında ise %40,8 ve %89,9 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada, optimum giderim verimleri $TiCl_4$ ve $ZrCl_4$ için pH 4,5 değerinde elde edilmiştir. Buna karşılık alüm için, pH 6 değeri optimum pH olarak düşünülmüştür.

Jarvis vd. (2012), klasik demir ve alüm koagülantlarıyla, yeni zirkonyum koagülantının içme suyu arıtımında koagülasyon performansını ve flok özelliklerini karşılaştırmıştır. 5 mg/L zirkonyum bazlı koagülant dozunda, pH 4,5 değerinde 1,3 mg/L minimum ÇOK kalıntısı elde edilmiştir. Demir bazlı koagülant madde kullanıldığında, 5 mg/L koagülant dozunda pH 4,5-5 aralığında 1,9 mg/L minimum ÇOK kalıntısı; koagülant olarak alüm kullanıldığında ise 5 mg/L koagülant dozunda pH 5 değerinde 3 mg/L minimum ÇOK kalıntısı elde edilmiştir.

Sun vd. (2013), $Ti(SO_4)_2$ koagülasyonu ile sudan arsenik giderimini araştırmışlardır. Bu çalışmada $Ti(SO_4)_2$, $Fe_2(SO_4)_3$ ile kıyaslanmıştır. pH 4-9 aralığında $Ti(SO_4)_2$ ile arsenik giderim verimleri, $Fe_2(SO_4)_3$ kullanımına göre daha fazla bulunmuştur.

Priya vd. (2017), yaptıkları çalışmada doğal organik maddenin hidrofobik fraksiyonlarının azaltılması için $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ performansının değerlendirilmesini, $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$ ve $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ klasik koagülantları ile karşılaştırarak yapmışlardır. Çalışmada, sentetik su kullanılmıştır. Çözünmüş organik karbon gideriminde koagülant performans eğilimleri, sırasıyla $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O > FeCl_3 > Fe_2(SO_4)_3 > Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ şeklinde bulunmuştur. Çalışmada, $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ kullanımı ile ÇOK'nun %91,72 azaltıldığı bildirilmiştir.

Cekli vd. (2017) sentetik deniz suyundan algli organik madde giderimi için titanyum koagülasyonunu, klasik koagülant olan $FeCl_3$ ile karşılaştırmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, bulanıklık yönünden hem $TiCl_4$ hem de polititanyum tetraklorürün (PTC), $FeCl_3$ 'den daha iyi bir performans sergilediğini göstermiştir.

Okour vd. (2009a), deniz suyu ters osmozundan önce ön arıtma olarak kullanılan titanyum tuzu flokülasyonundan elde edilen çamurun geri kazanılması üzerine yaptıkları çalışmada, $TiCl_4$, $Ti(SO_4)_2$ ve $FeCl_3$ 'ün performansları değerlendirilmiştir. Deniz suyundan bulanıklık gideriminde, pH 8 değerinde farklı dozlarda üç koagülantında bulanıklık giderimleri benzerlik göstermiştir. pH 6 değerinde $TiCl_4$ ve $FeCl_3$ koagülasyonu sonucu bulanıklık değeri 1,4 NTU olurken, $Ti(SO_4)_2$ koagülasyonu sonucu bulanıklık değeri 1,3 NTU olarak bulunmuştur.

Zhao vd. (2014), $TiCl_4$ kullanarak koagülasyon ve çamur geri kazanımının geleneksel $Al_2(SO_4)_3$ ve $FeCl_3$ koagülantlarına göre karşılaştırıldığı çalışmada gerçek içme suyu kullanmışlardır. $TiCl_4$ 'ün gerçek su arıtımı için etkili bir koagülant olduğu görülmüştür. Optimum doz ve optimum pH aralığında UV_{254} giderimi $TiCl_4$ (% 54,9) > $FeCl_3$ (% 47,6) > $Al_2(SO_4)_3$ (% 41,2), ÇOK giderimi ise $FeCl_3$ (% 57,9) > $TiCl_4$ (% 55,1) > $Al_2(SO_4)_3$ (% 43,2) şeklinde olmuştur. Ayrıca bu çalışmada titanyum tetraklorür floklarının çözelti pH'ından en az etkilendiği belirtilmiştir. $TiCl_4$ koagülasyonu sonucu oluşan flokların, geleneksel koagülant floklarına göre daha yüksek büyüme hızına ve flok büyüklüğüne sahip olduğu bildirilmiştir. Daha büyük flok büyüklüğünün, hidrolik bekleme süresini azaltabileceğini belirtmişlerdir.

Zhao vd. (2011), titanyum tuzunun koagülasyon özelliklerini klasik koagülantlardan olan alüminyum ve demir tuzlarıyla karşılaştırmıştır. Sentetik su kullanılarak yapılan çalışmada, $TiCl_4$ flokülasyonu diğer klasik koagülantlara göre daha fazla ÇOK giderim verimi (%84) ve bulanıklık giderim verimi (%93) sağlamıştır.

Wu vd. (2011), su arıtımı için $Ti(SO_4)_2$ koagülasyonu üzerine yaptıkları çalışmada, $Ti(SO_4)_2$ ile koagülasyonun pH 4-6 aralığında en etkili olduğunu ve iyi floklaşmış suda önemsiz miktarda titanyum bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca titanyum floklarının, alüminyum floklarından daha fazla yoğunluğa, çapa ve çökme hızına sahip olduğu bildirilmiştir. Pilot ölçekli yapılan koagülasyon çalışması sonucu, 22 mg/L koagülant dozunda polialüminyum klorür (PACl) koagülasyonunda %41 UV_{254} giderim verimi gerçekleşirken, $Ti(SO_4)_2$ koagülasyonunda UV_{254} giderim veriminin %54-57 aralığında olduğu bildirilmiştir.

Zhao vd. (2011a), $TiCl_4$ ve PACl koagülasyon davranışını, yüzey suyundan bulanıklık ve doğal organik madde (DOM) giderilmesi açısından karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmada KOİ ve ÇOK giderim verimlerinin, optimal dozajda $TiCl_4$ için sırasıyla %51,5 ve %78,4 olduğu ve PACl için sırasıyla %29,8 ve %41,0 olduğu bildirilmiştir.

Galloux vd. (2015), kömür madeni atıksuyunun arıtılması için polititanyum tetraklorür (PTC) ve $TiCl_4$ 'ün koagülasyon performansını ve flok özelliklerini $FeCl_3$ ile karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, hem PTC hem de $TiCl_4$ 'ün, bulanıklık, UV_{254} ve inorganik bileşiklerin (örneğin alüminyum, bakır veya çinko) giderilmesi bakımından $FeCl_3$ 'ten daha iyi performansa sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, PTC'nin çözülmüş organik karbon giderimi açısından zayıf bir performans gösterdiği bildirilmiştir (yani %10'dan daha az giderim verimi). Optimum doz ve optimum pH'da bulanıklık giderimi PTC (%98,1) > $TiCl_4$ (%97,0) > $FeCl_3$ (%96,5), UV_{254} giderimi PTC (%86,0) > $TiCl_4$ (%85,9) > $FeCl_3$ (%84,3), ÇOK giderimi $TiCl_4$ (%23,5) > $FeCl_3$ (%20,6) > PTC (%6,2) şeklinde bildirilmiştir.

Pushplanta ve Lokeshappa (2015), sızıntı suyundan bulanıklık, renk ve KOİ giderim verimlerini alüm, $FeCl_3$ ve $TiCl_4$ koagülantlarını kullanarak araştırmışlardır. $FeCl_3$ ve alüm koagülantlarına göre, $TiCl_4$ 'ün bulanıklık, renk ve KOİ giderim verimleri

yönünden en iyi performansı gösterdiği bildirilmiştir. $TiCl_4$ 'ün sızıntı suyu arıtımında etkili yeni bir koagülant olduğu belirtilmiştir.

Okour vd. (2009), atıksu arıtımında $TiCl_4$ ve $Ti(SO_4)_2$ koagülasyonunu $FeCl_3$ ve $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ klasik koagülantlarına göre karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada, sentetik atıksu kullanılmıştır. Farklı pH değerlerinde ve farklı dozlarda koagülantlar denenmiştir. 60 mg/L $Ti(SO_4)_2$ dozunda ÇOK giderim verimi %64 ile, diğer üç koagülanta kıyasla en yüksek değere ulaşmıştır. Aynı zamanda $Ti(SO_4)_2 \geq 50$ mg/L dozlarda ve tüm pH değerlerinde %100 renk giderimi sağlamıştır. $TiCl_4$ ise farklı pH değerlerinde ve farklı dozlarda diğer 3 koagülanta kıyasla bulanıklığın giderilmesinde daha etkili bir koagülant olduğu belirtilmiştir.

Shon vd. (2007), sentetik atıksu kullanarak $TiCl_4$ koagülantı kullanılması ile oluşan çamurdan titanyum dioksitin (TiO_2) hazırlanmasını araştırmışlardır. Organik maddeyi sentetik atıksudan uzaklaştırmak için daha yaygın olarak kullanılan $FeCl_3$ ve $Al_2(SO_4)_3$ koagülantları yerine alternatif bir koagülant olarak $TiCl_4$ kullanılmıştır. Alternatif koagülantın ($TiCl_4$), organik madde ve besin maddelerini (fosfor) Fe ve Al tuzlarıyla aynı ölçüde başarıyla giderdiği bildirilmiştir. Organik madde giderim verimi, 9,79 mg/L Ti dozunda %70 olarak elde edilmiştir. Bu giderim verimi, Fe ve Al tuzları ile elde edilen verimlere benzer olmuştur. Ek olarak; titanyum tuzu ile meydana gelen flok büyüklüğünün, Fe ve Al tuzlarından daha büyük olduğu da bildirilmiştir. Bu durumun, daha hızlı ve daha etkili bir çökelmeye sebep olduğu belirtilmiştir.

Yapılan çalışmalardan da görüleceği üzere su ve atıksu arıtımı için titanyum ve zirkonyum bazlı koagülantların klasik koagülantlara karşı alternatif koagülant maddeler oldukları ve gelecek vaad eden koagülant maddeler olabilecekleri düşünülmektedir. Bununla birlikte, son yıllarda koagülant olarak ilgi çeken zirkonyum ve titanyum tuzları, genellikle su arıtımında alternatif koagülant olarak test edilmiş olmakla birlikte; atıksu arıtımı üzerindeki performansları oldukça sınırlı sayıda çalışmada ele alınmıştır. Mevcut atıksu çalışmalarının çoğunluğu, sentetik olarak hazırlanan atıksu örneklerinde gerçekleştirilmiştir. Gerçek endüstriyel atıksuyundan alternatif koagülant kullanılarak elde edilecek AKM ve KOİ giderim verimleri ile çöken çamur miktarlarının klasik koagülantlara karşı değerlendirilecek

olması açısından; bu tez çalışmasının literatüre ve gerçek tesis işletmelerine bu alanda katkıda bulunması planlanmaktadır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Endüstriyel atıksu numunesi temini

Endüstriyel atıksu numunesi Antalya Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınmıştır. Organize sanayi bölgesi (OSB) arıtma tesisi fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma proseslerini kullanmaktadır. Günlük 20.000 m³/gün atıksu arıtma kapasitesine sahiptir. Kimyasal arıtmada koagülant olarak FeCl₃ kullanmaktadır. Kompozit atıksu numunesi; arıtma tesisinin dengeleme havuzu çıkışı, kimyasal arıtma girişinden alınmıştır. Numuneler kullanılmaya kadar +4 °C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir.

Antalya OSB toplam olarak 692 hektarlık alandan oluşmaktadır ve 5.065,189 m² alana sahip 328 adet çeşitli büyüklükte sanayi parseli bulunmaktadır. Bölge Karma OSB olup Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nca belirlenen çeşitli konularda üretime izin verilmektedir. Antalya Organize Sanayi Bölgesinde;

- Makine ve soğutma sanayi: 53
- Gıda sanayi: 40
- Plastik sanayi: 33
- İnşaat sanayi: 26
- Ahşap sanayi: 19
- Kimya sanayi: 19
- Tekstil sanayi: 19
- Gübre sanayi: 18
- Tarım sanayi: 15
- Elektrik- elektronik sanayi: 10
- Kağıt sanayi: 8
- Mermer sanayi: 6
- Çelik sanayi: 3
- Cam sanayi: 2

- Mobilya sanayi: 1

olmak üzere toplam 272 işletme bulunmaktadır.

3.1.2. Kullanılan kimyasal maddeler

Koagülasyon prosesinde kullanılan kimyasal maddeler şunlardır: Alüminyum sülfat oktahidrat / $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (CAS No: 7784-31-8, Acros organics), Demir (III) klorür / $FeCl_3$ (CAS No:7705-08-0, Tekkim kimya sanayi), Zirkonyum (IV) klorür / $ZrCl_4$ (CAS No: 10026-11-6, Merck), Titanyum (IV) klorür / $TiCl_4$ (CAS No: 7550-45-0, Acros organics), Zirkonyum (IV) oksiklorür oktahidrat / $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ (CAS No: 13520-92-8, Acros organics). pH ayarlaması için hidroklorik asit (HCl) ve sodyum hidroksit (NaOH) çözeltileri kullanılmıştır. Flokülasyon prosesinde, flokülant olarak anyonik polielektrolit çözeltisi kullanılmıştır.

3.1.3. Kullanılan kimyasal maddelerin hazırlanması

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $FeCl_3$, $ZrCl_4$, $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ ve anyonik polielektrolit kimyasallarından 1 gram tartılıp 1000 mL saf su içerisinde çözündürülüp; 1g/L'lik stok çözeltileri hazırlanmıştır. %99,9 saflığa ve 1,72 g/mL yoğunluğa sahip $TiCl_4$ sıvısının stok çözeltisi için 0,2 M HCl çözeltisi kullanılmıştır. $TiCl_4$ suyla etkileşime girdiğinde oldukça uçucu olduğundan dolayı, HCl çözeltisi $TiCl_4$ 'ü çözündürmek için kullanılmaktadır (Hussain vd., 2014; Pushpalatha ve Lokeshappa, 2015; Aziz vd., 2018). Koagülasyon için gerekli dozlar, hazırlanan bu stok çözeltilerden hesaplanan miktarlarında numunelere eklenmiştir. pH ayarı için, HCl ve NaOH çözeltileri kullanılmıştır. 500 mL saf su üzerine 4,15 mL HCl (%37 derişik) eklenerek 0,1 N HCl çözeltisi hazırlanmıştır. 0,1 N NaOH çözeltisi için 2 gr NaOH tartılarak, 500 mL saf su içerisinde çözündürülmüştür.

3.1.4. Deney süresince kullanılan cihazlar

- Hassas terazi, Kern ABJ 220-4 M
- Spektrofotometre, Hach, DR/2000

- Saf su cihazı, Nüve, NS 112
- pH metre, Hanna HI 221
- Isıtıcıli manyetik karıştırıcı, Biosan, MSH-300i
- Etüv, Nüve, FN 500
- Jar testi düzeneği, Velp Scientifica, JLT6
- Vakum filtrasyon ünitesi, Sartorius
- KOİ ısıtma bloğu, Hach, DRB 200

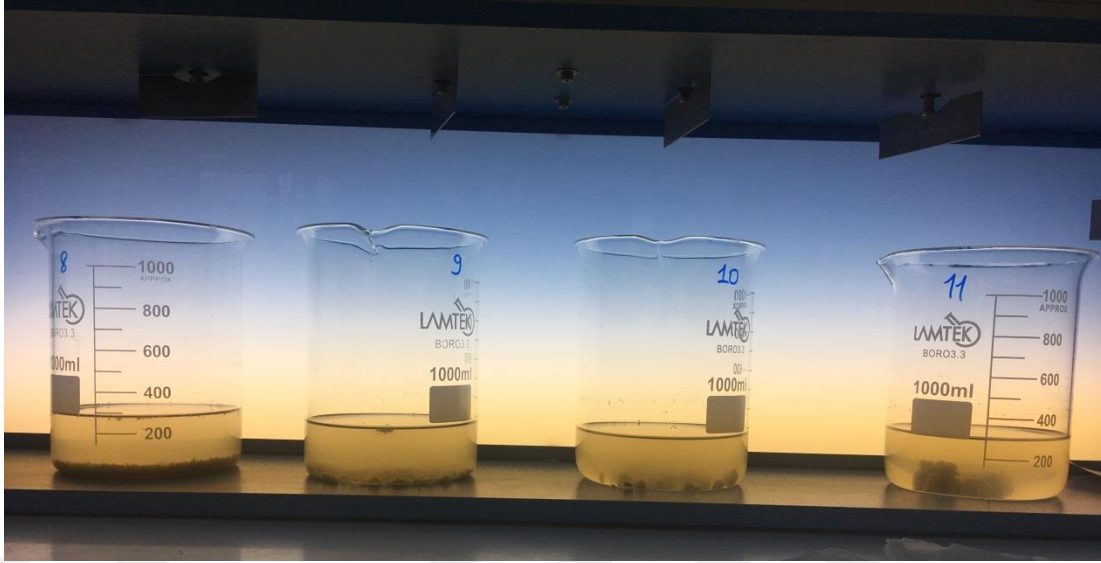
3.2. Jar Testi

Tüm koagülasyon-flokülasyon deney çalışmaları 1 L'lik cam beher kullanılarak jar test cihazında yapılmıştır. Jar test çalışmaları için Velp Scientifica, JLT6 marka test düzeneği kullanılmıştır. Jar test çalışmalarına ait görüntüler Şekil 3.1(a-b)'de gösterilmektedir.

a



b



Şekil 3.1. Jar test deneylerinin yapıldığı düzenek ve çalışmalardan örnekler (a) yavaş karıştırma periyodu, (b) 1 saatlik çökeltme süresi sonu

Antalya OSB Atıksu Arıtma Tesisi dengeleme havuzu çıkışından alınan numune örneklerinin 300 mL'si, 1000 mL'lik beherlere konulmuştur. Kullanılan her bir koagülant için 4 farklı doz ve 4 farklı pH değerinde, jar testi uygulanmıştır. Jar testi uygulama koşulları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Koagülant ilavesi hızlı karıştırma sırasında gerçekleştirilmiş olup hemen akabinde pH ayarlaması gerçekleştirilmiştir. Polielektrolit ilavesi ise yavaş karıştırma sırasında uygulanmıştır. Jar testinde, önce 200 rpm karıştırma hızında 5 dakika hızlı karıştırma yapılmıştır. Hızlı karıştırma sonrasında, flokülant madde olarak 5 mg/L anyonik polielektrolit bütün numunelere dozlanmış ve 20 rpm karıştırma hızında 30 dakika yavaş karıştırma işlemi başlatılmıştır. Yavaş karıştırma sonrasında jar testi cihazının pedalları kaldırılarak numuneler 1 saat çökelmeye bırakılmıştır. 1 saatlik çökeltme süresi sonunda beherler içerisindeki numunelerin sıvı yüzeyinin 3 cm aşağısından (oluşan flok çökeltisini bozmamak ve yüzeyde kalan inert maddelerden almamak için) örnekler alınmış ve alınan örneklerde AKM ve KOİ deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Jar testi çalışmasında kullanılan koagülant türleri ve jar testi uygulama koşulları

Jar Testi Koşulları	Koagülant Türü				
	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	$FeCl_3$	$ZrCl_4$	$TiCl_4$	$ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$
Koagülant dozu (mg/L)	10, 30, 50 ve 100	10, 30, 50 ve 100	10, 30, 50 ve 100	10, 30, 50 ve 100	10, 30, 50 ve 100
pH	4, 6, 8 ve 10	4, 6, 8 ve 10	4, 6, 8 ve 10	4, 6, 8 ve 10	4, 6, 8 ve 10
Hızlı karıştırma hızı (rpm)	200	200	200	200	200
Hızlı karıştırma süresi (dak)	5	5	5	5	5
Yavaş karıştırma hızı (rpm)	20	20	20	20	20
Yavaş karıştırma süresi (dak)	30	30	30	30	30
Çökeltme süresi (saat)	1	1	1	1	1

3.2.5. Çökebilan katı madde ve çamur hacim indeksi (SVI)

Her bir koagülant için, yapılan jar test çalışmalarında en iyi giderim verimlerinin gerçekleştiği deney şartları için, çökebilan katı madde ve çamur hacim indeksi (SVI) deneyi yapılmıştır. Her bir koagülant için, en iyi giderim verimlerinin elde edildiği doz ve pH değerinde 1000 mL numune için jar testleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen dozlar beherlere eklendikten sonra, optimum pH değerlerinin ayarlaması yapılarak; sırasıyla hızlı karıştırma ve yavaş karıştırma yapılmıştır. Yavaş karıştırma esnasında tam karışımdan numuneler alınmıştır. Yavaş karıştırma işlemi bittikten sonra numuneler 1000 mL hacime sahip imhoff hunilerine boşaltılmıştır. Numuneler imhoff hunilerinde çökeltme işlemine tabi tutularak, 30 ve 60 dakikalardaki çökme miktarları (mL/L atıksu) ölçülerek, çökebilan katı madde miktarı belirlenmiştir. Bu şekilde, her bir koagülant için oluşan çamur miktarları (mL/L, litre başına oluşan çamur) belirlenmiştir (Balık, 2013). Atıksuda tam karışımdan yapılacak AKM tayini ve 30 dakikalık çökeltme ölçüm sonuçlarına göre SVI değerleri hesaplanmıştır.

3.3. Analitik Yöntem

Toplam katı madde (TKM) ve toplam askıda katı madde (TAKM) deneyleri standart metot (APHA, 2005) izlenerek yapılmıştır. Toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (TKOİ) analizi için parçalama işlemi uygulanarak (Hach Reactor Digestion Metot), ısıtma bloğu (Hach, DRB 200) kullanılmıştır. pH değerleri Hanna HI 221 pH metre ile ölçülmüştür. Renk analizi, 0,45 µm membran filtreden süzölen numunelerin 455 nm dalga boyunda DR/2000 spektrofotometresinde okutulması ile belirlenmiştir (APHA, 2005). 0,45 µm membran filtrasyonu uygulanan örneklerdeki ağır metal analizleri ve toplam fosfor (TP) analizi SDÜ Mühendislik Faköltesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan ICP-OES cihazı (Perkin Elmer, Optima 2100 DV) ile standart metot izlenerek gerçekleştirilmiştir (APHA, 2005). Deneyler ikişer kez tekrar edilerek, ortalama değerleri alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. OSB'den Alınan Endüstriyel Atıksuyun Karakteri

Antalya OSB Atıksu Arıtma Tesisi dengeleme havuzu çıkışından alınan 24 saatlik kompozit numunenin karakterizasyonu Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. OSB atıksu arıtma tesisi çıkış sularının deşarjı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ndeki (SKKY) parametrelere göre yapılmaktadır. "Karışık endüstriyel atıksuların alıcı ortama deşarj standartları / küçük ve büyük organize sanayi bölgeleri ve sektör belirlemesi yapılamayan diğer sanayiler" için SKKY'de belirtilen deşarj standartları da, Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Antalya OSB atıksu arıtma tesisi dengeleme havuzu çıkış atıksu karakterizasyonu ve atıksuyun alıcı ortama deşarj standart değerleri

Parametre	OSB Atıksu Arıtma Tesisi Kimyasal Arıtma Giriş Suyu	Deşarj Standartları (24 saatlik kompozit numune)
Toplam katı madde (TKM), mg/L	4080±208,81	^a
Toplam askıda katı madde (TAKM), mg/L	1193,33±147,42	100
Toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (TKOİ), mg/L	3020±56,57	300
Toplam fosfor (TP), mg/L	15,24±0,04	1
Renk, (Pt-Co)	580	260
pH	6,89	6-9

^a SKKY deşarj standartlarında ilgili parametre bulunmamaktadır

Antalya OSB Atıksu Arıtma Tesisi dengeleme havuzu çıkışından alınan atıksu numunesinin metal içeriği ve SKKY'de belirtilen alıcı ortama deşarj standardı değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Çizelge 4.2'den görüleceği üzere, Antalya OSB atıksuyu Cr ve Pb ağır metalleri içeriği, SKKY alıcı ortam deşarj standartları değerlerinin altındadır.

Çizelge 4.2. Antalya OSB atıksu arıtma tesisi dengeleme havuzu çıkış atıksu metal içeriği ve atıksuyun alıcı ortama deşarj standart değerleri

Parametre	OSB Atıksu Arıtma Tesisi Kimyasal Arıtma Giriş Suyu	Deşarj Standartları (24 saatlik kompozit numune)
Bakır (Cu), mg/L	0,56	b
Kadmiyum (Cd), mg/L	a	b
Krom (Cr), mg/L	a	0,5
Çinko (Zn), mg/L	1,36	b
Kurşun (Pb), mg/L	a	1
Demir (Fe), mg/L	0,24	b

^a Ölçüm limitinin altında

^b SKKY deşarj standartlarında ilgili parametre bulunmamaktadır

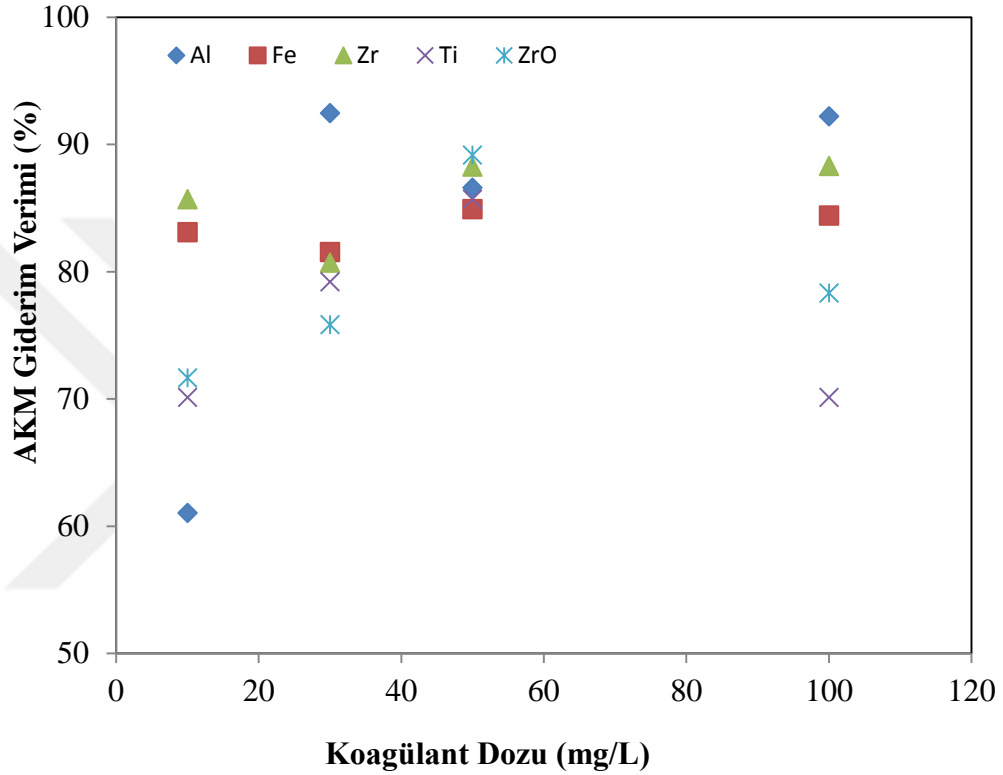
4.2. Endüstriyel Atıksudan AKM Giderim Verimleri Üzerine Klasik Koagülanlar ve Alternatif Koagülanların Etkileri

Klasik koagülanlar olarak $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $FeCl_3$ ve alternatif koagülanlar olarak $ZrCl_4$, $TiCl_4$ ve $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ kullanılarak 4 farklı doz ve 4 farklı pH değeri için endüstriyel atıksudan AKM giderimi için elde edilen verimler Çizelge 4.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Klasik ve alternatif koagülantların Antalya OSB atıksuyundan AKM giderim verimleri üzerine farklı pH değerlerinde ve farklı koagülant dozlarında etkileri

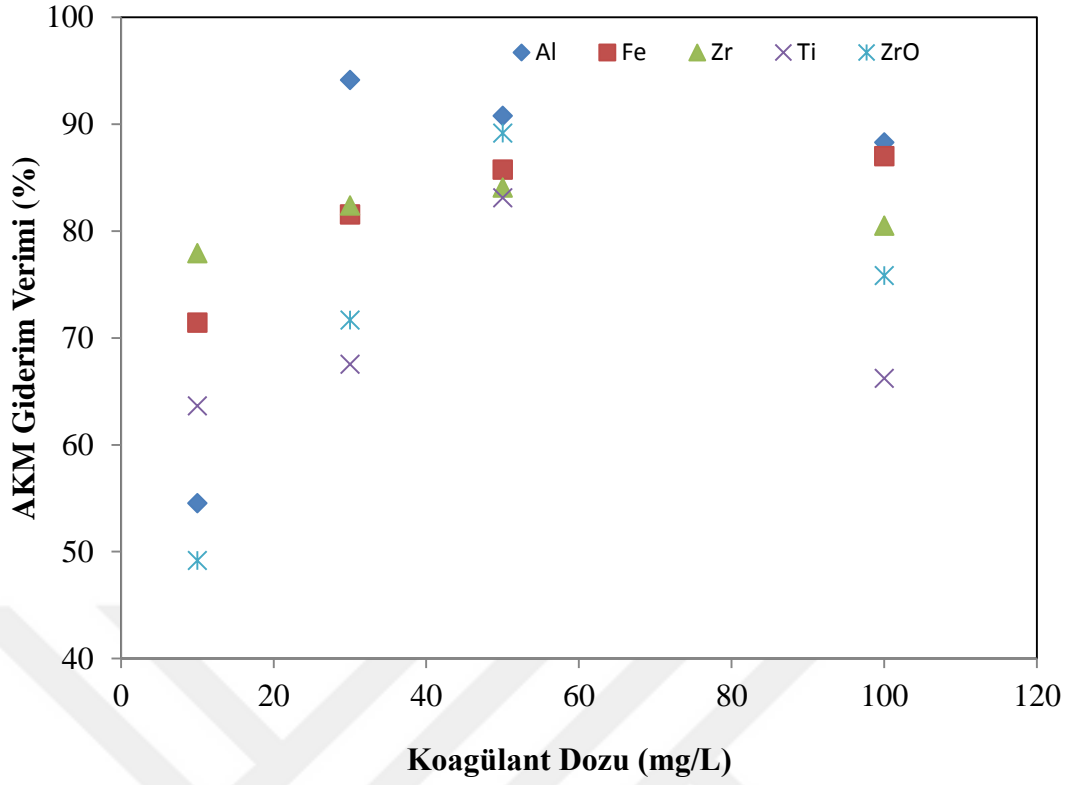
		Koagülant Dozu																							
		10 mg/L						30 mg/L						50 mg/L						100 mg/L					
		pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
Koagülant		AKM Giderim Verimleri (%)																							
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$		61,04	54,55	57,14	76,62	92,46	94,13	96,65	96,65	86,60	90,78	98,32	98,32	92,21	88,31	80,52	85,71								
$FeCl_3$		83,12	71,43	71,43	81,82	81,56	81,56	81,56	84,92	84,92	85,75	88,27	88,27	84,42	87,01	92,21	68,83								
$ZrCl_4$		85,71	77,92	70,13	89,61	80,73	82,40	84,08	89,11	88,27	84,08	90,78	92,46	88,31	80,52	92,21	85,71								
$TiCl_4$		70,13	63,64	64,94	75,32	79,22	67,53	70,13	85,71	85,71	83,12	71,43	80,52	70,13	66,23	72,73	83,12								
$ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$		71,67	49,17	64,17	84,17	75,83	71,67	78,33	82,50	89,17	89,17	88,33	90,00	78,33	75,83	80,83	82,50								

pH 4 değerinde, koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri, Şekil 4.1’de gösterilmektedir. pH 4 değerinde en yüksek AKM giderim verimleri 30 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ dozunda %92,46 ve 100 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ dozunda %92,21 olmuştur. pH 4 değerinde en düşük AKM giderim verimi ise 10 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ dozunda % 61,04 olmuştur. pH 4 değerinde $Al_2(SO_4)_3$ ’dan sonra en iyi AKM giderim verimi $ZrCl_4$ için 100 mg/L dozda %88,31 olarak elde edilmiştir.



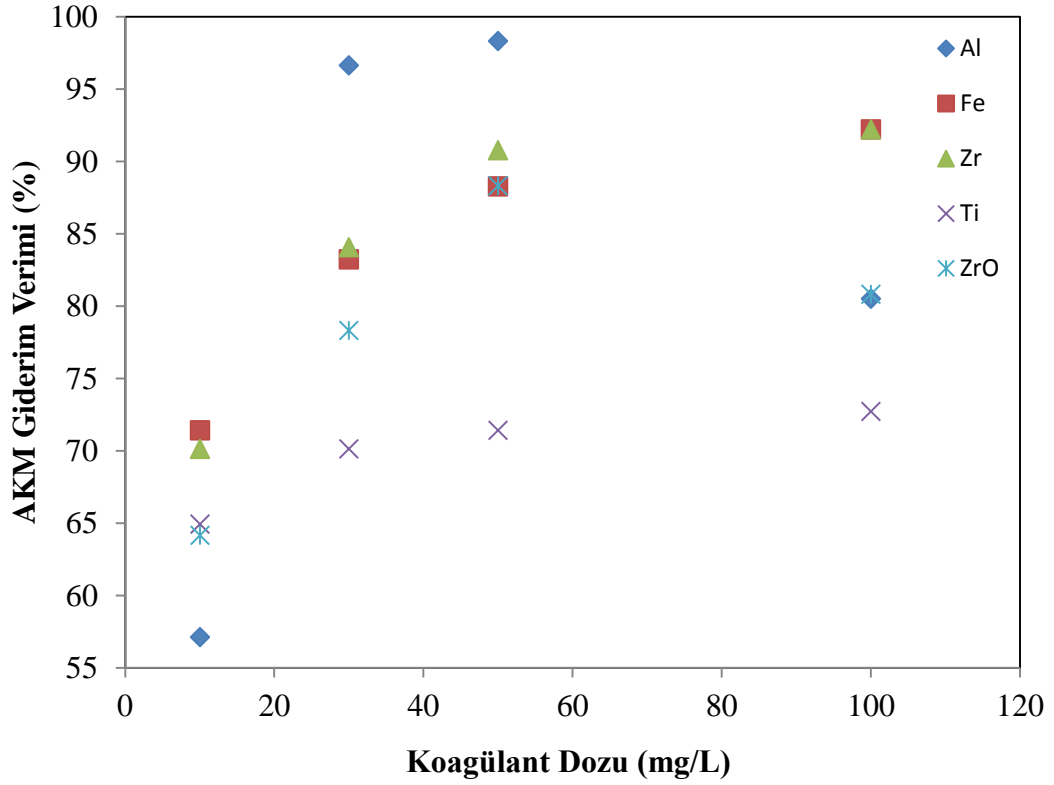
Şekil 4.1. pH 4 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri

pH 6 değerinde, koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri, Şekil 4.2’de gösterilmektedir. pH 6 değerinde en yüksek AKM giderim verimi 30 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ dozunda %94,13 olmuştur. En düşük AKM giderim verimi ise 10 mg/L $ZrOCl_2$ dozunda %49,17 olarak elde edilmiştir. pH 6 değerinde $ZrCl_4$, $TiCl_4$ ve $ZrOCl_2$ koagülantları için en yüksek giderim verimleri 50 mg/L dozda sırasıyla %84,08, %83,12 ve %89,17 olarak elde edilmiştir.



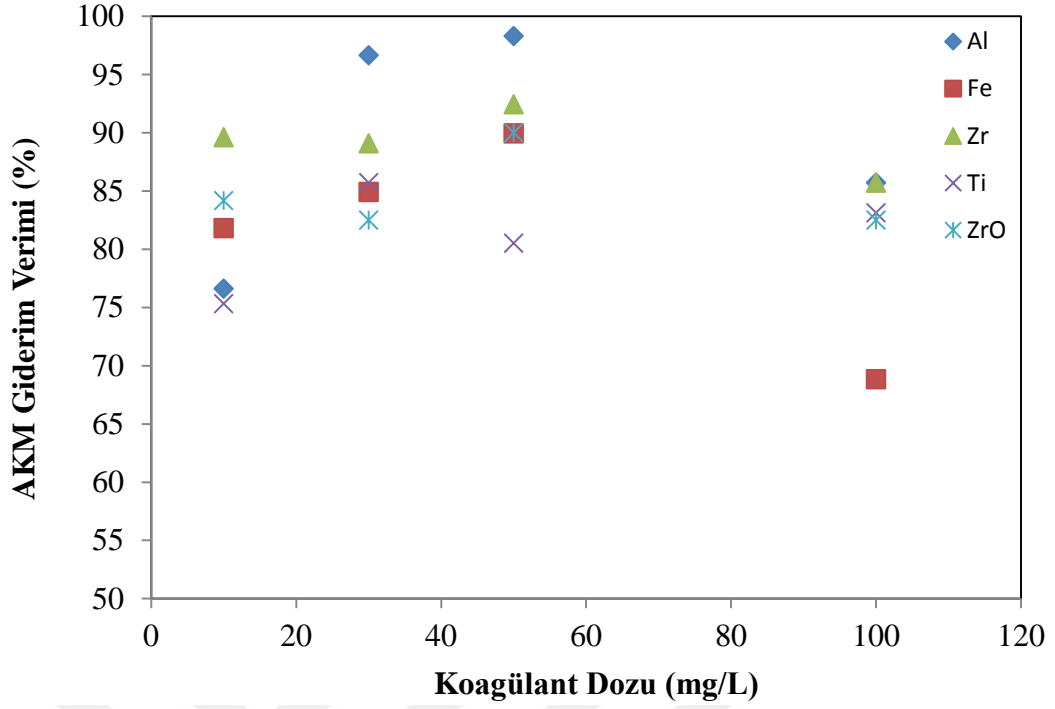
Şekil 4.2. pH 6 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri

pH 8 değerinde, koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri, Şekil 4.3'de gösterilmektedir. pH 8 değerinde en yüksek AKM giderim verimi 50 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ dozunda %98,32 olmuştur. En düşük verim ise 10 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ dozunda %57,14 olmuştur. $FeCl_3$, $ZrCl_4$ ve $TiCl_4$ koagülantları için, pH 8 değerinde koagülant dozu arttıkça verim artmıştır (Şekil 4.3). pH 8 değerinde $FeCl_3$, $ZrCl_4$ ve $TiCl_4$ koagülantları için en iyi giderim verimleri 100 mg/L dozda sırasıyla %92,21, %92,21 ve %72,73 olarak elde edilmiştir. pH 8 değerinde $ZrOCl_2$ koagülantı için en yüksek AKM giderim verimi 50 mg/L dozda %88,33 olmuştur.



Şekil 4.3. pH 8 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri

pH 10 değerinde, koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri, Şekil 4.4’de gösterilmektedir. pH 10 değerinde 50 mg/L koagülant dozunda, $TiCl_4$ hariç diğer tüm koagülant maddeler için en yüksek AKM giderim verimleri elde edilmiştir. Bu şartlarda AKM giderim verimlerin sıralanması $Al_2(SO_4)_3$ (%98,32) > $ZrCl_4$ (%92,46) > $ZrOCl_2$ (%90,00) > $FeCl_3$ (%89,94) şeklinde olmuştur.



Şekil 4.4. pH 10 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan AKM giderim verimleri üzerine etkileri

Farklı koagülant dozlarının farklı pH değerlerinde elde edilen AKM giderim verimlerinin uygulanan tüm koagülant türleri için Çizelge 4.3 ve Şekil 4.1-4.4 baz alınarak yapılan karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

10 mg/L koagülant dozunun pH 10 değerinde FeCl_3 hariç diğer tüm koagülantlar için diğer pH değerlerine göre en yüksek AKM giderim verimleri gerçekleşmiştir. Verimler sırasıyla ZrCl_4 (%89,61) > ZrOCl_2 (%84,17) > $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (%76,62) > TiCl_4 (75,32) şeklinde olmuştur. 10 mg/L FeCl_3 dozu için, en yüksek AKM giderim verimi pH 4 değerinde %83,12 olmuştur.

30 mg/L koagülant dozunun pH 10 değerinde tüm koagülantlar için en yüksek AKM giderim verimleri elde edilmiştir. Verimler sırasıyla $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (%96,65) > ZrCl_4 (%89,11) > TiCl_4 (85,71) > FeCl_3 (%84,92) > ZrOCl_2 (%82,50) şeklinde olmuştur. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ için, pH 8 değerinde de AKM giderim verim pH 10 ile aynıdır.

50 mg/L koagülant dozunun pH 10 değerinde TiCl_4 hariç diğer tüm tüm koagülantlar için diğer pH değerlerine göre en yüksek AKM giderim verimleri gerçekleşmiştir.

Verimler sırasıyla $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (%98,32) > ZrCl_4 (%92,46) > ZrOCl_2 (%90,00) > FeCl_3 (%89,94) şeklinde olmuştur. 50 mg/L TiCl_4 dozu için, en yüksek AKM giderim verimi pH 4 değerinde %85,71 olmuştur. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ için pH 8 değerindeki AKM giderim verimi pH 10 değerinde elde edilen verim ile aynıdır.

100 mg/L dozunda, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ koagülantı için en yüksek AKM giderim verimi pH 4 değerinde %92,21 olmuştur. 100 mg/L koagülant dozunun pH 8 değerinde ZrCl_4 ve FeCl_3 koagülantları için en yüksek AKM giderim verimleri %92,21 olarak gerçekleşmiştir. 100 mg/L koagülant dozunun pH 10 değerinde TiCl_4 ve ZrOCl_2 koagülantları için AKM giderim verimleri sırasıyla %83,12 ve %82,5 olmuştur.

AKM giderimi yönünden, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve ZrCl_4 koagülantları ile diğer koagülant türlerine göre daha iyi giderim verimleri elde edilmiştir.

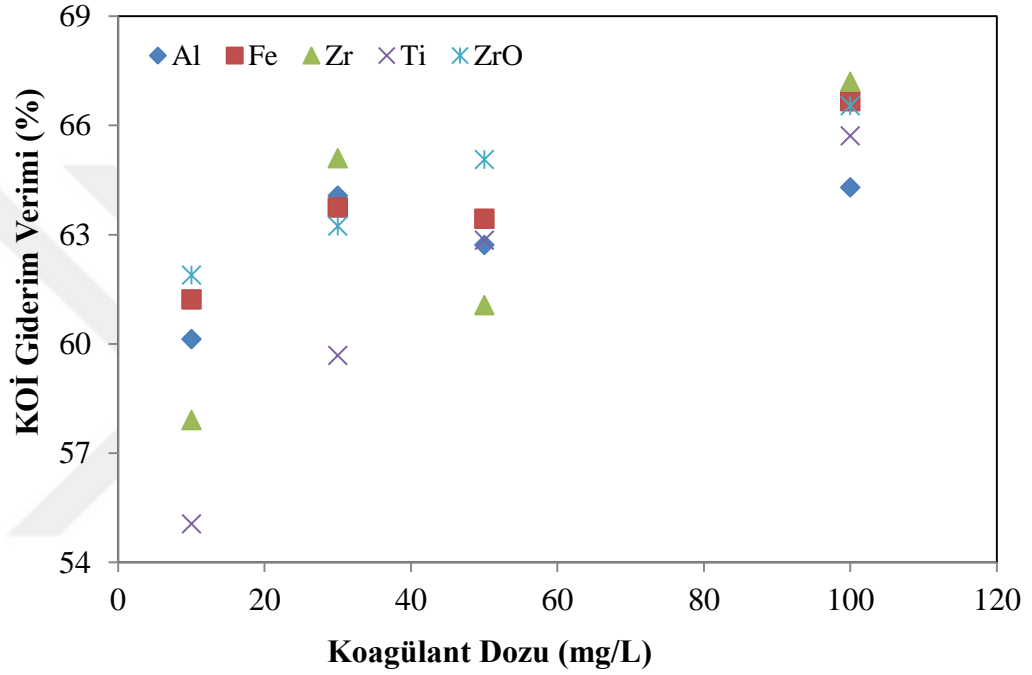
4.3. Endüstriyel Atıksudan KOİ Giderim Verimleri Üzerine Klasik Koagülantlar ve Alternatif Koagülantların Etkileri

Klasik koagülantlar olarak $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, FeCl_3 ve alternatif koagülantlar olarak ZrCl_4 , TiCl_4 ve $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak 4 farklı doz ve 4 farklı pH değeri için endüstriyel atıksudan KOİ giderimi için elde edilen verimler Çizelge 4.4'de gösterilmektedir. Çizelge 4.4'de görüleceği üzere, tüm koagülantlar için en iyi KOİ giderim verimleri 100 mg/L koagülant dozunda gerçekleşmiştir. En düşük doz olan 10 mg/L değerinde, pH 6 ve 8 değerlerinde tüm koagülantlar için KOİ giderim verimlerinin %50'nin altına düştüğü görülmüştür.

Çizelge 4.4. Klasik ve alternatif koagülanların Antalya OSB atıksuyundan KOİ giderim verimleri üzerine farklı pH değerlerinde ve farklı koagülan dozlarında etkileri

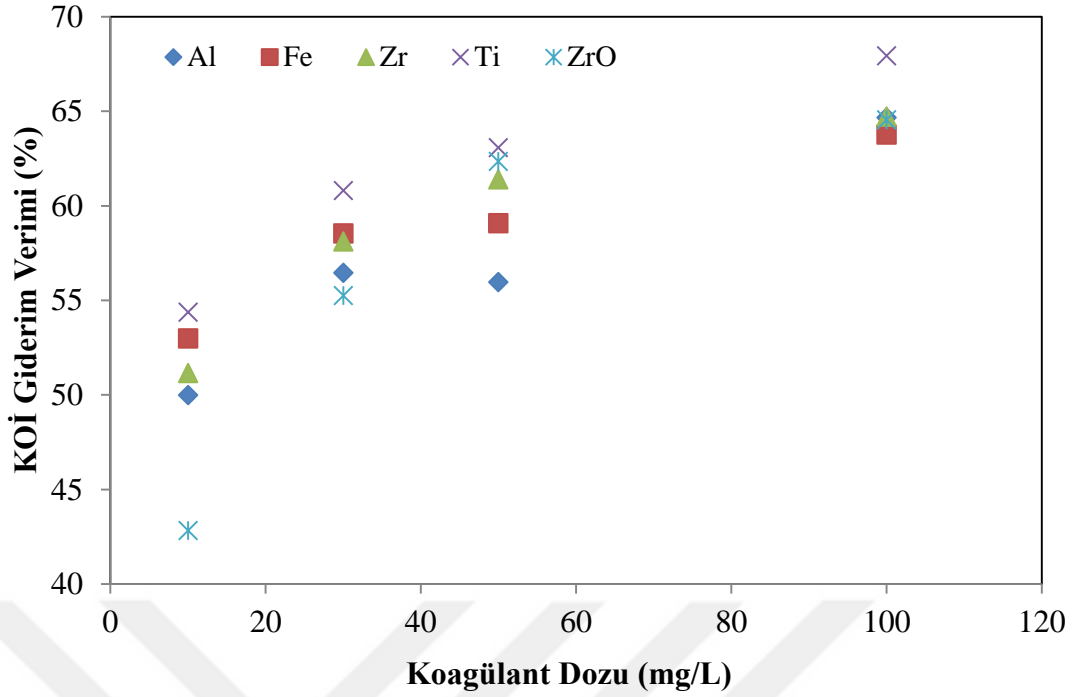
	Koagülan Dozu																			
	10 mg/L					30 mg/L					50 mg/L					100 mg/L				
	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10		pH 4	pH 6	pH 8	pH 10		pH 4	pH 6	pH 8	pH 10		pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	
Koagülan	KOİ Giderim Verimleri (%)																			
Al ₂ (SO ₄) ₃ .18H ₂ O	60,13	49,99	44,96	55,65	64,07	56,46	55,66	58,15	62,72	55,96	55,73	59,80	64,30	64,66	60,13	60,04				
FeCl ₃	61,22	52,98	48,67	54,56	63,74	58,54	57,82	61,72	63,44	59,07	57,65	60,30	66,66	63,76	64,57	60,36				
ZrCl ₄	57,91	51,16	48,08	54,43	65,10	58,11	56,09	59,21	61,06	61,40	59,34	61,95	67,20	64,71	62,58	59,32				
TiCl ₄	55,06	54,38	54,83	55,83	59,68	60,81	60,63	56,28	62,85	63,08	58,55	58,37	65,71	67,93	69,33	65,25				
ZrOCl ₂ .8H ₂ O	61,89	42,84	54,54	61,49	63,23	55,25	56,73	60,95	65,06	62,35	60,55	62,15	66,54	64,55	62,35	63,06				

pH 4 değerinde, koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri, Şekil 4.5’de gösterilmektedir. Şekil 4.5’den görüleceği gibi, pH 4 değerinde koagülant dozu arttıkça KOİ giderim verimleri tüm koagülantlar için artmıştır. pH 4 değerinde 100 mg/L koagülant dozunda tüm koagülant maddeler için en yüksek KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Bu şartlarda, verimler sırasıyla $ZrCl_4$ (%67,20) > $FeCl_3$ (%66,66) > $ZrOCl_2$ (%66,54) > $TiCl_4$ (%65,71) > $Al_2(SO_4)_3$ (%64,30) olmuştur.



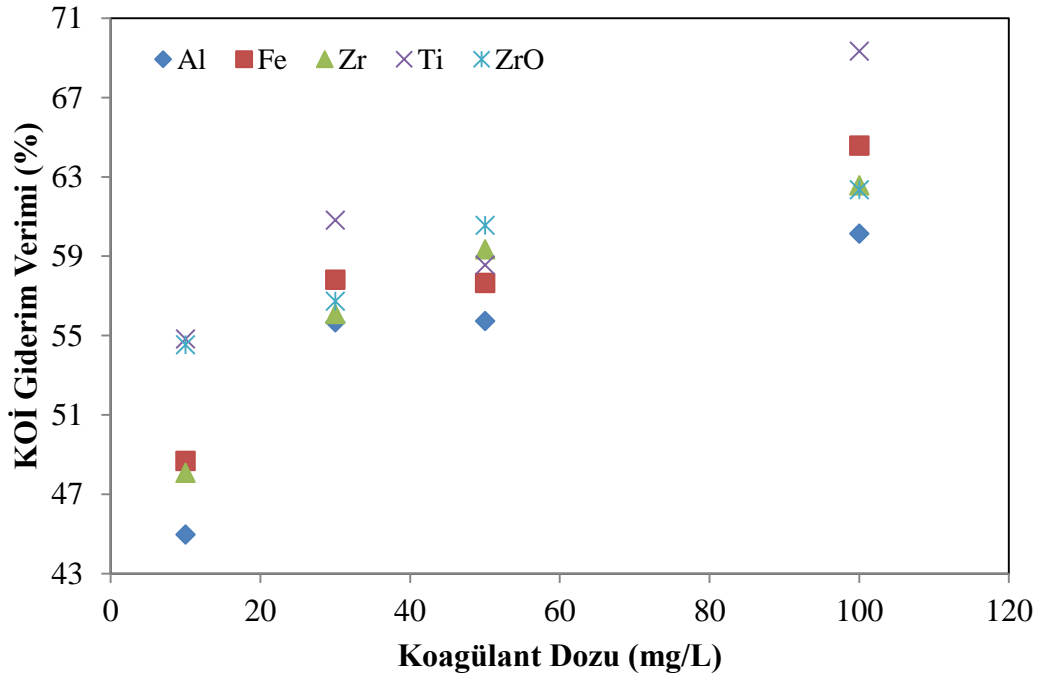
Şekil 4.5. pH 4 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri

pH 6 değerinde, koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri, Şekil 4.6’da gösterilmektedir. pH 6 değerinde en yüksek KOİ giderim verimi 100 mg/L $TiCl_4$ dozunda %67,93 olmuştur. pH 6 değerinde en düşük KOİ giderim verimi ise 10 mg/L $ZrOCl_2$ dozunda %42,84 olmuştur.



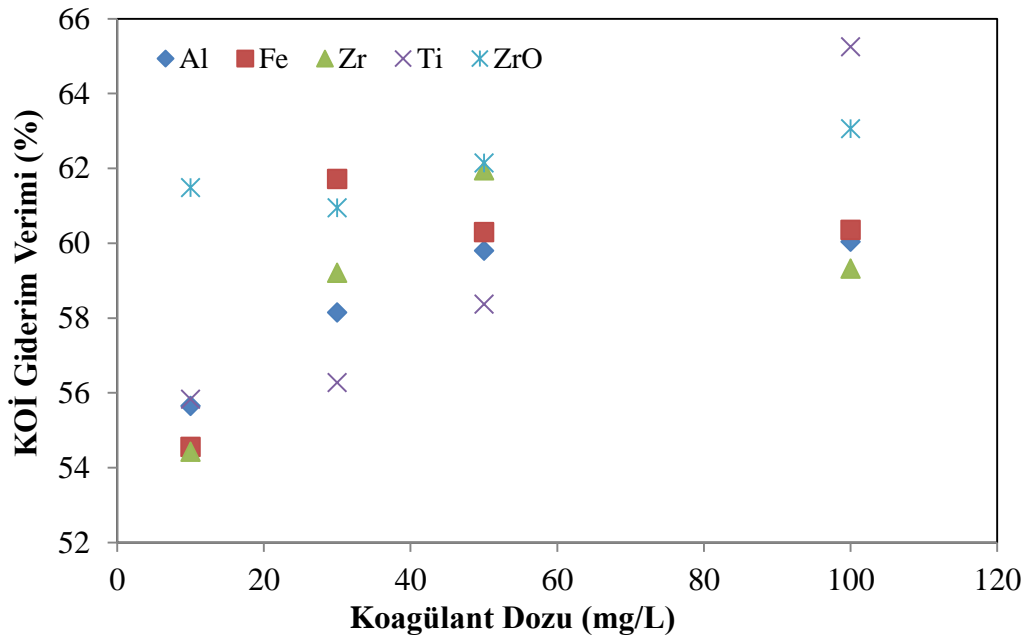
Şekil 4.6. pH 6 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri

pH 8 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri, Şekil 4.7’de gösterilmektedir. pH 8 değerinde en yüksek KOİ giderim verimi 100 mg/L $TiCl_4$ dozunda %69,33 olmuştur. pH 8 değerinde en düşük KOİ giderim verimi ise 10 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ dozunda %44,96 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.7. pH 8 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri

Şekil 4.8’de, pH 10 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri gösterilmektedir. pH 10 değerinde en yüksek KOİ giderim verimi 100 mg/L $TiCl_4$ dozunda %65,25 olmuştur. pH 10 değerinde en düşük KOİ giderim verimi ise 10 mg/L $ZrCl_4$ dozunda %54,43 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.8. pH 10 değerinde koagülantların farklı dozlarının atıksudan KOİ giderim verimleri üzerine etkileri

Farklı koagülant dozlarının farklı pH değerlerinde elde edilen KOİ giderim verimlerinin uygulanan tüm koagülant türleri için Çizelge 4.4 ve Şekil 4.5-4.8 baz alınarak yapılan karşılaştırmaları aşağıda verilmiştir.

10 mg/L koagülant dozunun pH 4 değerinde $TiCl_4$ hariç diğer tüm koagülantlar için diğer pH değerlerine göre en yüksek KOİ giderim verimleri gerçekleşmiştir. Verimler sırasıyla $ZrOCl_2$ (%61,89) > $FeCl_3$ (%61,22) > $Al_2(SO_4)_3$ (%60,13) > $ZrCl_4$ (%57,91) şeklinde olmuştur. 10 mg/L $TiCl_4$ dozu için, en yüksek KOİ giderim verimi pH 10 değerinde %55,83 olmuştur.

30 mg/L koagülant dozunun pH 4 değerinde $TiCl_4$ hariç diğer tüm koagülantlar için en yüksek KOİ giderim verimleri elde edilmiştir. Verimler sırasıyla $ZrCl_4$ (%65,10) > $Al_2(SO_4)_3$ (%64,07) > $FeCl_3$ (%63,74) > $ZrOCl_2$ (%63,23) şeklinde olmuştur. 30 mg/L $TiCl_4$ dozu için, en yüksek KOİ giderim verimi pH 6 değerinde %60,81 olmuştur.

50 mg/L koagülant dozunun pH 4 değerinde $ZrOCl_2$, $FeCl_3$ ve $Al_2(SO_4)_3$ koagülantları için en yüksek KOİ giderim verimleri sırasıyla %65,06, %63,44 ve %62,72 olarak elde edilmiştir. 50 mg/L $ZrCl_4$ dozu için en yüksek KOİ giderim verimi pH 10 değerinde için %61,95 olmuştur. 50 mg/L $TiCl_4$ dozu için, en yüksek KOİ giderim verimi pH 6 değerinde %63,08 olmuştur.

100 mg/L koagülant dozunun pH 4 değerinde $Al_2(SO_4)_3$ ve $TiCl_4$ hariç diğer tüm koagülantlar için diğer pH değerlerine göre en yüksek KOİ giderim verimleri gerçekleşmiştir. Verimler sırasıyla $ZrCl_4$ (%67,20) > $FeCl_3$ (%66,66) > $ZrOCl_2$ (%66,54) şeklinde olmuştur. 100 mg/L $TiCl_4$ dozu için, en yüksek KOİ giderim verimi pH 8 değerinde %69,33 olmuştur. 100 mg/L $Al_2(SO_4)_3$ dozu için pH 4 ve pH 6 değerlerinde KOİ giderim verimleri birbirine çok yakın çıkarak, sırasıyla %64,30 ve %64,66 olmuştur.

Koagülasyon pH'ı, koagülant türü ve arıtılan atıksuya bağlıdır. Görüleceği üzere, $TiCl_4$ koagülantı hariç diğer koagülantlar için pH 4 değerinde giderim verimleri ekseriyetle diğer pH değerlerine göre daha yüksek olmuştur. Bu durum, literatürdeki diğer çalışmalarla da benzerlik göstermektedir. Okour vd. (2009), pH 4 değerinde

diğer pH değerlerine göre daha iyi bir organik madde gideriminin gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

4.4. Klasik ve Alternatif Koagülantlar İçin Endüstriyel Atıksudan En İyi Giderim Verimlerinin Elde Edildiği Şartlarda Oluşan Çamur Miktarları ve SVI Değerleri

OSB ortak atıksu arıtma tesislerinde biyolojik aktif çamur ünitesinin yükünü azaltmak için aynı zamanda zor parçalanabilir ve toksik olabilecek bazı bileşenlerin giderimi için koagülasyon ve flokülasyon işlemi yaygın bir ön arıtma metodu olarak uygulanmaktadır. Endüstri atıksu numunesi aldığımız Antalya OSB Atıksu Arıtma Tesisi de ilk olarak koagülasyon, flokülasyon ve çökeltme ünitelerini içeren ön kimyasal arıtma ve bunu takip eden biyolojik aktif çamur prosesinden oluşmaktadır.

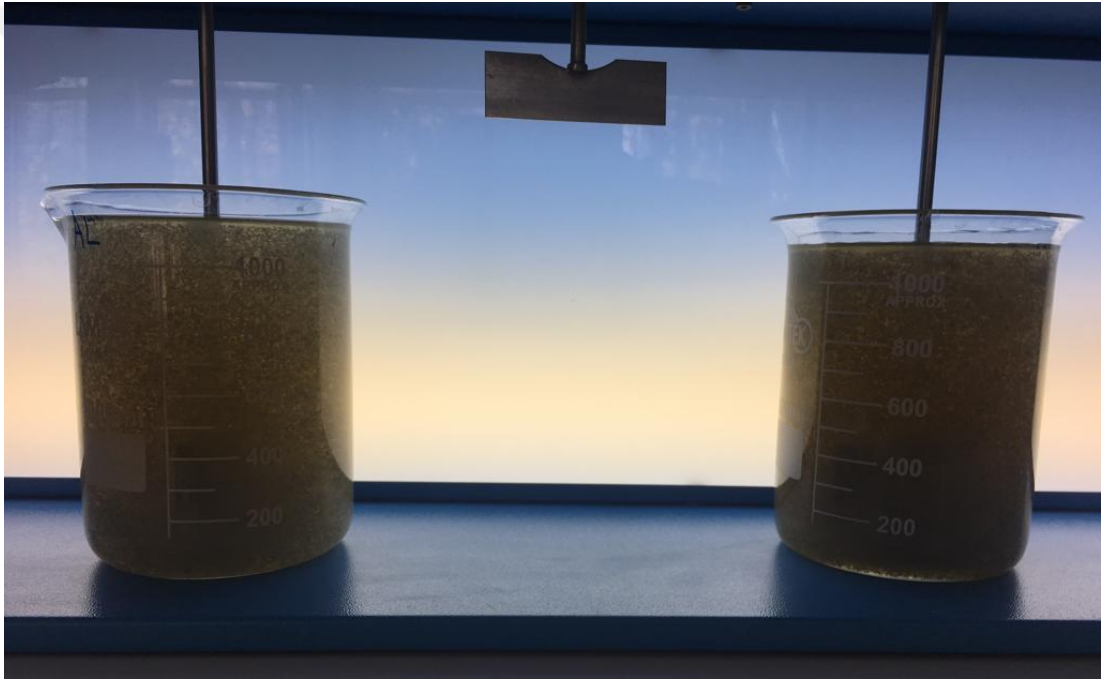
Biyolojik aktif çamur sisteminin yükünü azaltması bakımından, ön arıtma kademesinde KOİ giderimi ne kadar fazla gerçekleşirse o kadar iyi olacaktır. Bu sebeple, klasik ve alternatif koagülantların performansları değerlendirilip en iyi kirlilik giderim şartları belirlenirken, AKM giderim verimleri yerine KOİ giderim verimleri baz alınmıştır.

KOİ giderimi bakımından; en iyi giderim verimlerinin sağlandığı koşullar şu şekilde olmuştur. $FeCl_3$, $ZrCl_4$ ve $ZrOCl_2$ için en iyi KOİ giderim verimleri, 100 mg/L koagülant dozu pH 4 değerinde sırasıyla %64,30, %66,66, %67,20 ve 66,54 olarak elde edilmiştir. $TiCl_4$ için en iyi KOİ gideri verimi 100 mg/L koagülant dozu pH 8 değerinde %69,33 olarak elde edilmiştir. $Al_2(SO_4)_3$ için en iyi KOİ giderim verimleri 100 mg/L koagülant dozu için pH 4 ve pH 6 değerlerinde birbirine çok yakın çıkarak, sırasıyla %64,30 ve %64,66 olmuştur. $Al_2(SO_4)_3$ için 100 mg/L koagülant dozu için pH 4 değerinde AKM giderim verimi %92,21 olduğundan, pH 4 değerinin daha uygun olduğu düşünülmüştür.

En iyi KOİ giderim verimleri bakımından kullanılan 5 koagülantında birbirine benzer giderim verimlerine sahip olduğu görülmüştür. Tüm koagülantlar için en iyi giderim verimlerinin sağlandığı şartlarda elde edilen KOİ giderim verimleri %64,30 ile %69,33 aralığında olmuştur. Benzer şekilde; Shon vd. (2007) $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ ve

TiCl₄ koagülantlarını kullandıkları sentetik atıksuyun arıtımı sonucunda, üç koagülant için de benzer organik madde giderim verimlerinin elde edildiğini bildirmişlerdir.

Giderim verimlerinin belirlenmesi çalışmalarında, jar testleri 300 mL atıksu numunesi hacminde yapılmıştır. En iyi giderim verimlerinde oluşan çamur miktarlarını ve SVI değerlerini belirlemek için ise, jar testleri her bir koagülant için en iyi giderim verimlerinin gerçekleştiği deney şartlarında 1000 mL numune hacminde yapılmıştır. Bu jar testi çalışmalarından görüntüler Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. En iyi KOİ giderim verimlerinin elde edildiği şartlarda 1000 mL numune hacminde jar test çalışması

Jar testinde hızlı karıştırma ve yavaş karıştırma periyotları sonucunda numuneler İmhoff hunilerinde çökeltme işlemine tabi tutularak, 30 ve 60 dakikalardaki çökme miktarları “mL/L atıksu” olarak ölçülmüştür. İmhoff hunilerinde çökeltme işlemlerine ait görüntüler Şekil 4.10’da gösterilmektedir.

a



b



Şekil 4.10. En iyi KOİ giderim verimlerinin elde edildiği şartlarda 1000 mL numune hacminde imhoff hunisinde çökelme işlemi (a) başlangıç aşaması, (b) 30 dakika sonunda çökmüş çamur

30 dakika ve 60 dakika çökelme süreleri sonunda elde edilen çöken çamur miktarları ile SVI değerleri Çizelge 4.5’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.5’ten görüleceği üzere, 30 ve 60 dakikalarda en az çöken çamur miktarı $TiCl_4$ koagülantı için sırasıyla 42 mL/L ve 38 mL/L olarak elde edilmiştir. 60 dakika için diğer koagülantlar için çöken çamur miktarları ise $ZrCl_4$ (100 mL/L) > $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ (76 mL/L) > $FeCl_3$ (70 mL/L) > $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (52 mL/L) sıralamasında gerçekleşmiştir.

$TiCl_4$ koagülantının sadece en az çöken çamur miktarına sahip değil aynı zamanda 48,34 mL/g ile en düşük SVI değerine sahip koagülant olduğu Çizelge 4.5’te görülmektedir. Bu durum, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $FeCl_3$ klasik koagülantlarına göre $TiCl_4$ koagülantının daha az çamur ürettiğinin bir göstergesidir. Syfalni vd. (2012), sızıntı suyunun arıtılmasında KOİ, renk ve amonyak azotunun giderilmesi üzerine kimyasal koagülant olarak alüm ve doğal koagülant olarak laterit toprağını kullanmışlardır. Alüm koagülantının, laterit toprağından daha yüksek SVI değerine sahip olduğu bildirilmiş; bu durumun laterit toprağının nispeten daha kompakt bir çamur ürettiğinden dolayı olduğu bildirilmiştir.

Çizelge 4.5. En iyi KOİ giderim verimlerinin elde edildiği şartlarda her bir koagülant için elde edilen çöken çamur miktarları ve SVI değerleri

Koagülant	Çöken Çamur Miktarı (mL/L), 30 dakika	Çöken Miktarı (mL/L), 60 dakika	Çamur SVI Değeri (mL/g)
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	62	52	69,66
$FeCl_3$	86	70	72,26
$ZrCl_4$	110	100	128,13
$TiCl_4$	42	38	48,34
$ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$	85	76	92,39

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, organize sanayi bölgesi atıksuyunun kimyasal arıtımında alternatif koagülantların ($ZrCl_4$, $TiCl_4$ ve $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$) performanslarının klasik koagülantlara ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $FeCl_3$) göre değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, $FeCl_3$, $ZrCl_4$, $TiCl_4$ ve $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ olmak üzere beş farklı koagülant için; dört farklı koagülant dozu (10 mg/L, 30 mg/L, 50 mg/L ve 100 mg/L) ve dört farklı pH değerinde (4, 6, 8 ve 10) jar test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Jar test çalışmaları sonucunda koagülantların performansları AKM ve KOİ giderim verimleri bakımından değerlendirilmiştir. Ek olarak, en iyi giderim verimlerinin elde edildiği şartlarda her bir koagülant için oluşan çamur miktarları ve SVI değerleri de ayrıca değerlendirilmiştir.

En yüksek AKM giderim verimi; $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı için 50 mg/L dozda, pH 8 ve 10 değerlerinde %98,32 olarak elde edilmiştir. $ZrCl_4$ ve $FeCl_3$ koagülantları için, en yüksek AKM giderim verimleri 100 mg/L dozda pH 8 değerinde %92,21 olmuştur. $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ koagülantı için en yüksek AKM giderim verimi, 50 mg/L dozda pH 10 değerinde %90 olmuştur. $TiCl_4$ koagülantı için en yüksek AKM giderim verimi ise %85,71 olmuştur. AKM giderimi yönünden, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ diğer tüm koagülantlara göre nispeten daha iyi bir performans göstermiştir.

Tüm koagülantlar için en yüksek KOİ giderim verimleri, 100 mg/L koagülant dozlarında gerçekleşmiştir. En yüksek KOİ giderim verimi; $TiCl_4$ koagülantı için 100 mg/L dozda pH 8 değerinde %69,33 olarak elde edilmiştir. $ZrCl_4$ ve $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ koagülantları için, pH 4 değerinde tüm dozlar için daha yüksek KOİ giderim verimleri gözlenmiştir. $ZrCl_4$, $FeCl_3$ ve $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ koagülantları için en yüksek KOİ giderim verimleri 100 mg/L dozda pH 4 değerinde sırasıyla %67,20, %66,66 ve %66,54 olmuştur. $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ koagülantı için en yüksek KOİ giderim verimi ise %64,66 olmuştur.

En iyi KOİ giderim verimleri bakımından kullanılan beş farklı koagülantında birbirine benzer giderim verimlerine sahip olduğu görülmüştür. Tüm koagülantlar için en iyi KOİ giderim verimlerinin sağlandığı şartlarda elde edilen KOİ giderim verimleri %64,30 ile %69,33 aralığında olmuştur.

Gerek AKM gerekse de KOİ giderim performansları değerlendirildiğinde, alternatif koagülant olarak $ZrCl_4$, $TiCl_4$ ve $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ koagülantlarının endüstriyel atıksuların kimyasal arıtımı için klasik koagülantlara alternatif olabilecek iyi bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, $ZrCl_4$ ve $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ alternatif koagülantlarının klasik koagülantlara göre daha yüksek SVI değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

En iyi KOİ giderim verimlerinin sağlandığı şartlarda gerçekleşen çökeltme testleri sonucu; en az çöken çamur miktarı $TiCl_4$ koagülantı için elde edilmiştir. Ek olarak, $TiCl_4$ için diğer koagülant türlerine göre en düşük SVI değeri elde edilmiştir.

Atıksuların koagülasyon-flokülasyon ile arıtılması sonucu kimyasal arıtma çamurları ortaya çıkmaktadır. Kimyasal arıtma çamurları, bertaraf edilmesi gereken bir atık türüdür. Klasik koagülantların oluşturdukları kimyasal çamurun fazla olması arıtma tesisleri için büyük bir sorun teşkil etmektedir. Çünkü tehlikeli atık olarak adlandırılan bu arıtma çamurlarının stabilizasyonu ve bertarafı oldukça maliyetlidir. Bu sebeple, daha az çamur oluşumunun gerçekleşeceği alternatif koagülant türlerinin laboratuvar ölçekli ve pilot ölçekli araştırılması çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Daha az çamur veya yeniden kullanılabilir çamur üreten bir koagülantın, çamurun arıtılması ve bertarafı ile ilişkili birçok çevresel ve ekonomik problemlere daha iyi bir çözüm sunabilecektir.

$TiCl_4$ koagülantının KOİ giderimi yönünden diğer tüm koagülantlara göre en yüksek giderim verimine sahip olması yanı sıra; aynı zamanda en düşük çöken çamur miktarı ve en düşük SVI değerine de sahip olması bu çalışmanın önemli sonuçlarından birisi olmuştur. Tüm koagülantlara göre $TiCl_4$ koagülantı için en iyi KOİ giderim verimi pH 8 değerinde elde edilmiştir. Bu durum, atıksuyun arıtılmasında kimyasal arıtmadan sonra gelecek biyolojik arıtma kademesi için bir avantaj oluşturacaktır. Biyolojik arıtma kademesinde ayrıca bir pH ayarı yapılmasına

gerek kalmayarak, ek bir kimyasal tüketimi gerçekleştirecektir. Bu durum, ekonomik yönden önemli bir avantaj oluşturacaktır. Ek olarak, $TiCl_4$ koagülantı kullanılması ile oluşan kimyasal çamurdan titanyum oksit üretilebilmektedir. Bu durum da, diğer bir ekonomik faydayı oluşturmaktadır. Bununla birlikte, ülkemizde klasik koagülantlar olan $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ve $FeCl_3$ üretimini gerçekleştiren çok sayıda yerli firma bulunmaktadır. Bu durum; ülkemiz atıksu arıtma tesislerinde alternatif koagülant olarak $TiCl_4$ kullanılması durumunda, yerli üretici firmalardan temin edilen klasik koagülantların kullanıldığı duruma göre daha fazla maliyet oluşturabilecektir.

İleriki çalışmalarda titanyum ve zirkonyum bazlı koagülantların klasik koagülantlara göre değerlendirilmeleri; ağır metal ve toksik maddeler içeren deri endüstrisi, tekstil endüstrisi, sızıntı suyu gibi farklı atıksu türleri için de araştırılabilir.

Sonuç olarak; endüstriyel atıksu arıtımında alternatif koagülantların klasik koagülantlara karşı performanslarının değerlendirilmesi üzerine yapılan bu çalışmada deney sonuçlarının da gösterdiği gibi zirkonyum ve titanyum bazlı koagülantlar klasik koagülantlar olan alüminyum ve demir bazlı koagülantlara göre benzer kirlilik giderim verimleri göstermiştir. Ve bu yönüyle endüstriyel atıksuların arıtılmasında gelecek vaad etmektedirler.

KAYNAKLAR

- Akanser, A., 2010. Sulardan Koagülayon/Yumaklaştırma İşlemi İle Ağır Metal Gideriminin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 52 s, Ankara.
- Akyatan, G., 2010. Organize Sanayi Bölgesi Atıksularının Magnezyum Flokülasyonu İle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi ve Klasik Koagülanlarla Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 65 s, Adana.
- Alp, Ö., 2005. Atıksuların Arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, 65 s, İstanbul.
- APHA, AWWA, WEF, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21. Baskı. Washington, DC.
- Aziz, H.A., Razak, M.H.A., Rahim, M.Z.A., Kamar, W.I.S.W., Amr, S.S.A., Hussain, S., Leeuwen, J.V., 2018. Evaluation and Comparison the Perfomance of Titanium and Zirconium(IV) Tetrachloride in Textile Wastewater. Data in Brief, 18, 920–927.
- Balık, Y., 2013. Boya Endüstrisi Atıksuyunun Koagülasyon İle Ön Arıtımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 95 s, İstanbul.
- Bildi, Ö., 2015. Boran İçerikli Stiren Divinilbenzen Destekli Reçine Sentezi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 117 s, Ankara.
- Chekli, L., Corjon, E., Tabatabai, S.A.A., Naidu, G., Tamburic, B., Park, S.H., 2017. Performance of Titanium Salts Compared to Conventional FeCl₃ for the Removal of Algal Organic Matter (AOM) in Synthetic Seawater: Coagulation performance, organic fraction removal and floc characteristics. Journal of Environmental Management, 201, 28–36.
- Çelik, A., 2011. Süt Endüstrisi Atıksularının Arıtma Alternatifleri. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 115 s, Tekirdağ.
- Çevre Mühendisiyim, 2012. Kimyasal Arıtma. Erişim Tarihi: 26.03.2019. <http://cevremuhendisiyim.com/kimyasal-aritma>
- Demir, N.M., 2012. İleri Biyolojik Arıtma Proseslerinde Nutrient Giderimi ve Mikroorganizma Türlerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 124 s, İstanbul.
- Dinç, H., 2011. Boya Atıksuyunun Kimyasal ve İleri Arıtma Yöntemleri İle Arıtılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 77 s, İstanbul.

- Dokuz Eylül Üniversitesi, 2019. Erişim Tarihi: 10.04.2019.
<http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum05.pdf>
- Eroğlu, V.,1995. Su Tasfiyesi. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Faust, S.D., Aly, O.M., 1983. Chemistry of Water Treatment. Butterworth Publishers, 723 s, USA.
- Flochem, 2019a. Erişim Tarihi: 6.05.2019. <http://www.flochem.com.tr/tr/urunler/toz-kasyonik-polielektrolitler.html>
- Flochem, 2019b. Erişim Tarihi: 6.05.2019. <http://www.flochem.com.tr/tr/urunler/toz-anyonik-polielektrolitler.html>
- Flochem, 2019c. Erişim Tarihi: 6.05.2019.
<http://www.flochem.com.tr/tr/urunler/n.html>
- Galloux, J., Chekli, L., Phuntsho, S., Tijing, L.D., Jeong, S., Zhao, Y.X., Gao, B.Y., Park, S.H., Shon, H.K., 2015. Coagulation Performance and Floc Characteristics of Polytitanium Tetrachloride and Titanium Tetrachloride Compared with Ferric Chloride for Coal Mining Wastewater Treatment. Separation and Purification Technology, 152, 94–100.
- Hussain, S., Leeuwen, J.V., Chow, C.W.K., Aryal, R., Beecham, S., Duan, J., Drikas, M., 2014. Comparison of The Coagulation Performance of Tetravalent Titanium and Zirconium Salts with Alum. Chemical Engineering Journal, 254, 635–646.
- Jarvis, P., Sharp, E., Pidou, M., Molinder, R., Parsons, S.A., Jefferson, B., 2012. Comparison of Coagulation Performance and Floc Properties using a Novel Zirconium Coagulant Against Traditional Ferric and Alum Coagulants. Water Research, 46, 4179–4187.
- Karcioğlu, Z., 2009. Endüstriyel Atıksulardan Kimyasal Koagülasyon Yöntemi İle Bor Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 123 s, Erzurum.
- Kav, M.F., 2011. Adana Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının İleri Arıtma Yöntemleri (Fizikokimyasal Yöntemler: Pıhtılaştırma Yumaklaştırma + Perlit Filtrasyon) Kullanılarak Tekstil Endüstrisinde Proses Suyu Olarak Geri Kazanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 74 s, Adana.
- Kavak, N., 2016. Kayseri İli Örneğinde, Atıksu Arıtma Tesislerinde Uygulanan Arıtma Yöntemlerinin İncelenmesi ve Optimum Yöntemin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 93 s, Nevşehir.

- Keleş, R., Ertan, B., 2002. Çevre Hukukuna Giriş, İmge Kitabevi, 1. Baskı, 320 s.
- Kıpkıp, L., 2006. Chemically Enhanced Wastewater Treatment. M.Sc. Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Science, 72 s, İzmir.
- Küçükgül E.Y., Türkman A., 2004. Kimyasal Arıtma. Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarım ve Kontrol Esasları, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası Yayını, İstanbul.
- Loraine, G.A, Glaze W.H., 1992. Destruction of Vapour Phase Halogenated Methanes by Means of Ultraviolet Photolysis, 47th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings, Lewis Publishers, Inc. Chelsea, Michigan.
- Okour, Y., Shon, H.K., Saliby, I.E., 2009. Characterisation of Titanium Tetrachloride and Titanium Sulfate Flocculation in Wastewater Treatment. Water Science and Technology, 59 (12), 2463–2473.
- Okour, Y., Saliby, I.E., Shon, H.K., Vigneswaran, S., Kim, J.H., Cho, J., Kim, I.S., 2009a. Recovery of Sludge from Ti- Salt Flocculation as Pretreatment to Seawater Reverse Osmosis. Desalination, 247, 53–63.
- Okour, Y.H., Ahmed, S.S., 2018. An Effective Method of Wastewater Treatment using Titanium Salt and a Coagulant Aid of Chitosan. Water and Environment Journal, 1–9.
- Öztürk, Ö., 2017. Çevre Kirliliği ve Hukuki Sorumluluk. Yüksek Lisans Tezi, Çağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Hukuku Anabilim Dalı, 112 s.
- Özyonar, F., 2007. Entegre Et ve Et Ürünleri Tesisleri Atıksularının Kimyasal Koagülasyon ve Elektrokoagülasyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 86 s, Sivas.
- Priya, T., Mohanta, V.L., Mishra, B.K., 2017. Performance Evaluation of Zirconium Oxychloride for Reduction of Hydrophobic Fractions of Natural Organic Matter. Separation and Purification Technology, 174, 104–108.
- Pushpalatha, T.N., Lokeshappa, B., 2015. The Use of Alum, Ferric Chloride and Titanium Tetrachloride as Coagulants in Treating Landfill Leachate. International Journal of Science, Engineering and Technology Research, 4 (6), 2093–2096.
- Sesler Kırhan, Ş., 2014. İndigo Yıkama & Pamuklu Kumaş Boyama Yapan bir Tekstil Endüstrisinin Arıtılmış Atıksuyunda Renk Giderimi İçin En Uygun Koagülasyon/Flokülasyon Teknolojisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 171 s, Tekirdağ.
- Shon, H.K., Vigneswaran, S., Kim, I.S., Cho, J., Kim, G.J., Kim, J.B., Kim, J.H., 2007. Preparation of Titanium Dioxide (TiO₂) from Sludge Produced by Titanium Tetrachloride (TiCl₄) Flocculation of Wastewater. Environmental Science and Technology, 41, 1372–1377.

- Shon, H., Okour, Y., El Saliby, I., Park, J., Cho, D.L., Kim, J.B., Park, H.J., Kim, J.H., 2009. Preparation and Characterisation of Titanium Dioxide Produced from Ti-Salt Flocculated Sludge in Water Treatment. *Journal of the Korean Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 241–250.
- Sun, Y., Zhou, G., Xiong, X., Guan, X., Li, L., Bao, H., 2013. Enhanced Arsenite Removal from Water By $Ti(SO_4)_2$ Coagulation. *Water Research*, 47, 4340–4348.
- Syafalni, S., Lim, H.K., Ismail, N., Abustan, I., Murshed, M.F., Ahmad, A., 2012. Treatment of Landfill Leachate by using Lateritic Soil as a Natural Coagulant. *Journal of Environmental Management*, 112, 353–359.
- Szygula, A., Guibal, E., Palacin, M.A., Ruiz, M., Sastre, A.M, 2009. Removal of An Anionic Dye (Acid Blue 92) by Coagulation-Flocculation using Chitosan. *Journal of Environmental Management*, 90, 2979–2986.
- Şenel, M.S., 2017. Antalya Boğaçayı'nda Kirlilik Düzeyi ve Su Kalitesinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, 71 s, Antalya.
- Şengül, F., Küçükgül, E.Y., 1995. Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 153, İzmir.
- Vaiopoulou, E., Aivasidis, A., 2008. A Modified UCT Method for Biological Nutrient Removal: Configuration and Performance. *Chemosphere*, 72, 1062–1068.
- Wu, Y.F., Liu, W., Gao, N.Y., Tao, T., 2011. A Study of Titanium Sulfate Flocculation for Water Treatment. *Water Research*, 45, 3704–3711.
- Zhao, Y.X., Gao, B.Y., Shon, H.K., Cao, B.C., Kim, J.H., 2011. Coagulation Characteristics of Titanium (Ti) Salt Coagulant Compared with Aluminum (Al) and Iron (Fe) Salts. *Journal of Hazardous Materials*, 185, 1536–1542.
- Zhao, Y.X., Gao, B.Y., Cao, B.C., Yang, Z.L., Yue, Q.Y., Shon, H.K., Kim, J.H., 2011a. Comparison of Coagulation Behavior and Floc Characteristics of Titanium Tetrachloride ($TiCl_4$) and Polyaluminum Chloride (PACl) with Surface Water Treatment. *Chemical Engineering Journal*, 166 (2), 544–550.
- Zhao, Y.X., Gao, B.Y., Zhang, G.Z., Qi, Q.B., Wang, Y., Phuntsho, S., Kim, J.H., Shon, Q.H., Yue, K.Y., Li, Q., 2014. Coagulation and Sludge Recovery using Titanium Tetrachloride as Coagulant for Real Water Treatment: A Comparison Against Traditional Aluminum and Iron Salts. *Separation and Purification Technology*, 130, 19–27.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eda BOYACIOĞLU
Doğum Yeri ve Yılı : Melikgazi, 1992
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : celikeleda@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Alpaslan Alican Anadolu Lisesi, 2010
Lisans : SDÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği, 2015
Lisans: Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme, devam ediyor

Mesleki Deneyim

İz Çevre Mühendislik ve Müşavirlik Hizmetleri, 2015
Isparta Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi, 2015-2016
Elit Geri Dönüşüm Enerji Çevre Teknolojileri Danışmanlık Mühendislik, 2016-2017

Yayımları

Boyacıoğlu, E., Uysal, A., 2018. Novel Coagulants for Wastewater Treatment. ICOCEE, 3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering, April 24-27 2018, Çeşme, İzmir, Conference E- Book, Volume 1, 613.