



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İÇME SUYU ARITMA TESİSİ ÇAMURUNUN
ATIKSU ARITIMINDA KOAGÜLAN
OLARAK KULLANIMI

Filiz ALAKAY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Filiz ALAKAY tarafından hazırlanan “İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamurunun Atıksu Arıtımında Koagülan Olarak Kullanımı” adlı tez çalışması 30/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr. Şükrü DURSUN

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Zehra GÖK

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP)
Koordinatörlüğü tarafından 211001029 no.lu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Filiz ALAKAY

30.06.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İÇME SUYU ARITMA TESİSİ ÇAMURUNUN ATIKSU ARITIMINDA KOAGÜLAN OLARAK KULLANIMI

Filiz ALAKAY

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR

2022, 59 Sayfa

Jüri

Dr.Öğr.Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR
Prof.Dr. Şükrü DURSUN
Dr.Öğr.Üyesi Zehra GÖK

İçme suyu ve atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurlar arıtma proseslerine, arıtılacak suyun kompozisyonuna ve tesisin arıtım performansına bağlı olarak farklı içeriklere sahip olabilmektedir. Bu atıkların uygun olmayan bertaraf yöntemleri ile uzaklaştırılması çevresel ortamlarda yeni kirlilik problemleri ortaya çıkarabilmektedir. Arıtma çamurlarının farklı alanlarda yeniden kullanımının sağlanabilmesi ise çevresel ve ekonomik açıdan hem söz konusu atık probleminin giderilmesine hem de farklı alanlarda ham madde tüketiminin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Bu tez çalışmasında Konya içme suyu arıtma tesisinde oluşan çamurunun, metal kaplama atıksuyu, sentetik gri su ve hümit asit çözeltisinin koagülasyon-flokülasyon prosesi ile arıtımında etkinliği incelenmiş ve ticari alüminyum klorür hidroksit (ACH) ile kıyaslanmıştır. Çamur ve ACH kullanımı sonucu metal kaplama atıksuyundan pH 8 değerinde AKM giderimi sırasıyla %92.3-96.0, %92.8-96.1 ve çinko giderimi sırasıyla %79.7-95.9, %74.8-95.7 aralığında elde edilmiştir. Sentetik gri su arıtımında KOİ giderimi çamur kullanımında maksimum %50, ACH kullanımında maksimum %92.9 olarak belirlenmiştir. Hümit asit çözeltisi arıtımında orijinal pH değerinde (7.65) çamur kullanımında maksimum renk giderimi %26.5 ve UV₂₇₂ giderimi %29.9 olarak belirlenmiş, ACH kullanımında ise bu değerler sırasıyla %96.6 ve %91.3 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İçme suyu arıtma tesisi çamuru, yeniden kullanım, koagülasyon-flokülasyon.

ABSTRACT

MS THESIS

USAGE OF DRINKING WATER TREATMENT PLANT SLUDGE AS A COAGULANT IN WASTEWATER TREATMENT

Filiz ALAKAY

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Environmental Engineering**

Advisor: Asst.Prof.Dr. Sezen KÜÇÜKÇONGAR

2022, 59 Pages

**Jury
Asst.Prof.Dr. Sezen KÜÇÜKÇONGAR
Prof.Dr. Şükrü DURSUN
Asst.Prof.Dr. Zehra GÖK**

Sludge originating from drinking water and wastewater treatment plants may have different contents depending on the treatment processes, the composition of the water to be treated and the treatment performance of the plants. Removal of these wastes by improper disposal methods may cause new pollution problems in environment. For this reason, it is important to apply economical and environmentally friendly methods in the removal of sludge. Reuse of sewage sludge in different areas will contribute to both the elimination of the existing waste problem and the reduction of raw material consumption in different areas in environmental and economic terms. In this thesis, the efficiency of the sludge released in Konya drinking water treatment plant in the treatment of metal plating wastewater, synthetic gray water and humic acid solution by coagulation-flocculation process was investigated and compared with commercial aluminium chloride hydroxide (ACH). As a result of the use of sludge and ACH, the removal of AKM from metal coating wastewater was 92.3-96.0%, 92.8-96.1%, and zinc removal was between 79.7-95.9% and 74.8-95.7%, respectively at pH 8. In synthetic gray water treatment, COD removal was determined as maximum 50% in sludge use and 92.9% in ACH use. In humic acid solution treatment, maximum color removal was determined as 26.5% and UV272 removal was determined as 29.9% in sludge usage at original pH value (7.65), while these values were determined as 96.6% and 91.3%, respectively, in ACH usage.

Keywords: Drinking water treatment plant sludge, reuse, coagulation-flocculation.

ÖNSÖZ

Öncelikle çalışmalarımnda değerli birikim, tecrübe ve bilgisiyle ışık tutan, yapıcı ve her daim pozitif yaklaşımı ile yanımda olan ve bu desteğini hissettiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans dönemi boyunca yardım ve desteğini benden esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr. Şükrü DURSUN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışma sürecimde, çalışmamın bir parçası olan çamur numuneleri ve yine bu süreçte ihtiyacım olan gerekli tüm bilgi ve detayları benimle paylaşan, aynı zamanda çalışmaktan gurur duyduğum ve bir parçası olduğum kurumum KOSKİ'ye teşekkürlerimi iletiyorum.

Ayrıca bugüne kadar maddi ve manevi desteklerini, sonsuz sevgilerini benden hiç esirgemeyen; şüana kadar olan ve devam eden öğrenim hayatım boyunca desteklerini daima hissettiğim çok kıymetli aileme teşekkür ediyor ayrıca yiğenlerim Güneş ve Atlas'a armağan ediyorum.

Filiz ALAKAY
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. İçme Suyu Arıtımı Kaynaklı Çamurlar	3
2.2. İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamurlarının Yeniden Kullanım Alanları	6
2.1.1. Yapı Malzemesi Olarak ve Farklı Endüstrilerde Kullanımı	6
2.1.2. Zirai Alanlarda Kullanımı	8
2.1.3. Su/Atıksulardan Kirletici Maddelerin Gideriminde Kullanımı	11
2.2. Koagülasyon-Flokülasyon Prosesi	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1. İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamuru	24
3.2. Metal Kaplama Atıksuyu	30
3.3. Sentetik Gri Su	33
3.4. Hümik asit çözeltisi	34
3.4. Koagülasyon-Flokülasyon Deneyleri	34
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	37
4.1. Çamur Analiz Sonuçları	37
4.2. Koagülasyon-Flokülasyon Deney Sonuçları	38
4.2.1. Metal kaplama atıksuyu	38
4.2.2. Sentetik gri su	44
4.3.3. Hümik asit çözeltisi	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	53
ÖZGEÇMİŞ	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	Yüzde
°C	Santigrat
µm	Mikrometre
µS	Mikrosiemens
H ₂ SO ₄	Sülfürik Asit
m ³	Metreküp
mA	Miliamper
NaOH	Sodyum Hidroksit
W	Watt
Zn	Çinko

Kısaltmalar

TOK	Toplam Organik Karbon
DWTP	İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamuru
WTS	Su Arıtma Çamuru
DG	Ayrışmış Granit
VA	Volkanik Kül
UASB	Yukarı Akışlı Anaerobik Çamur Blanket Reaktörü
PACl	Polialüminyum Klorür
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
OMW	Zeytin Değirmeni Atıksuyu
HPLC	Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi
OG	Yağ ve Gres
TAKM	Toplam Askıda Katılar
TVS	Toplam Uçucu Katılar
TKM	Toplam Katı Madde
SRP	Çamur Reaktif Ürünü
SiO ₂	Silisyum Dioksit
FCS	Demir Klorür Çamuru
RSM	Yanıt Yüzey Metodolojisi
ACH	Alüminyum Klorür Hidroksit
RPM	Devir Sayısı

1. GİRİŞ

Yaşadığımız çevrede oluşan kirliliğinin birçok etkeni olmasıyla birlikte en önemlilerini insanların ihtiyaçlarının karşılanması ve bu amaca hizmet eden faaliyetler oluşturmaktadır. Özellikle büyük kentlerdeki artan nüfus ve gelişen endüstriyel faaliyetlerin sonucu olarak, içme/kullanma suyu ve nihayetinde oluşan atıksuların arıtımı esnasında oluşan çamurlar giderek artan bir problem haline gelmektedir. Bu çamurların işlenmesi ve bertarafı hem çevresel olarak hem de işletme maliyeti olarak sorun oluşturmaktadır. Bu atıkların uygun olmayan bertaraf yöntemleri ile uzaklaştırılması çevresel ortamlarda yeni kirlilik problemleri ortaya çıkarabilecektir. Bu nedenle çamurların uzaklaştırılmasında ekonomik ve çevreci yöntemlerin uygulanması önem arz etmektedir.

Arıtma çamurlarının farklı alanlarda yeniden kullanımının sağlanabilmesi ise çevresel ve ekonomik açıdan hem söz konusu atık probleminin giderilmesine hem de farklı alanlarda ham madde tüketiminin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Literatürde atıksu arıtma tesislerinde oluşan biyolojik çamurlardan enerji eldesi ve farklı yeniden kullanım alternatifleri ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Ancak içme suyu arıtma tesislerinde oluşan çamurların kimyasal ve toksik içerikleri kaynaklı yeniden kullanım alanlarının sınırlı olması nedeniyle yeterli çalışma bulunmamaktadır.

İçme suyu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların içerikleri arıtma proseslerine, arıtılacak suyun kompozisyonuna ve tesisin arıtım performansına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. İçme suyu arıtımında, özellikle de yüzeysel su kaynaklarından temin edilen suların arıtımında temel proses koagülasyon-flokülasyondur. Bulanıklık, renk gibi problemlerin sulardan giderimi için genellikle alüminyum ve demir tuzları koagülan madde olarak kullanılır. İçme suyu arıtımında kullanılan koagülasyon-flokülasyon gibi kimyasal prosesler sonucunda uzaklaştırılması gereken büyük miktarlarda atık çamur ortaya çıkar. Bu atıklar sıvı, gaz ve katı formlarda organik ve inorganik bileşikler içermektedir. Alum çamuru ağırlıklı olarak alüminyum hidroksit, mil, kum, kil ve ağır metalleri içermektedir. Çamur, daha sonra kullanılmak üzere geri kazanılabilecek yüksek konsantrasyonlarda alüminyum içerir. Bu nedenle, çamurun doğrudan düzenli depolama sahalarına, sucul ortamlara ve araziye uygulanması sürdürülebilir bir çözüm değildir.

Bu tez çalışmasında, Konya içme suyu arıtma tesisinde kimyasal çökeltme prosesi sonucu ortaya çıkan çamurun özelliklerinin belirlenmesi ve sürdürülebilir

yeniden kullanım alternatiflerinin önerilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle çamur kompozisyonunun belirlenmesi, katı madde haline getirilmesi ve farklı sentetik ve gerçek su/atıksuların arıtımında koagülan madde olarak kullanılarak ağır metal ve organik madde giderimindeki etkinliğinin deneysel olarak incelenmesi planlanmıştır. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ile literatürde mevcut açıklığın doldurulması ve arıtma tesisinde oluşan atığa uygulanabilecek faydalı bir kullanım alanı önerilmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmanın bu alandaki literatüre katkı sağlayacağı ve diğer içme suyu arıtma tesislerinde oluşan çamurun faydalı bir amaç için kullanımı fikrine katkısı olacağı düşünülmektedir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

İçme suyu ve atıksulara fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemleri uygulanması sonucunda çökebilir veya yüzebilir hale getirilen katı maddeler çamur olarak tarif edilebilir. Su ve atıksuların arıtımında ortaya çıkan, taşıdıkları özelliklerden dolayı kendilerinin de ayrıca arıtılmaları gereken, arıtılmadan çevreye verildiklerinde çevrede hasar oluşturabilecek, katı ve sıvı karışımından oluşan maddelerdir. Yüksek miktarlarda organik madde, besin maddeleri, patojen mikroorganizmalar ve çok miktarda su içerdiklerinden arıtılmaları gerekmektedir.

Genel olarak arıtma çamurları üç ana kategoriden kaynaklanmaktadır. Bunlar:

- İçme suyu arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları
- Atıksu arıtma tesislerinden gelen arıtma çamurları
- Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarıdır (Yıldız ve ark., 2009).

Arıtma tipine ve amacına göre arıtma çamurlarının cinsleri farklılık göstermektedir. Bunlar:

- Çökebilir katı maddelerin oluşturduğu ön çökeltim çamurları,
- Kimyasal arıtma ve koagülasyon sonucu oluşan kimyasal çamurlar,
- Biyolojik arıtma işlemleri sonucu oluşan biyolojik çamur,
- İleri arıtma çamurudur.

2.1. İçme Suyu Arıtımı Kaynaklı Çamurlar

İçme suyu arıtımında, özellikle de yüzeysel su kaynaklarından temin edilen suların arıtımında temel proses koagülasyon-flokülasyondur. Bulanıklık, renk, organik madde gibi problemlerin sulardan giderimi için genellikle alüminyum ve demir tuzlarını içeren koagülan maddeler kullanılmaktadır. İçme suyu arıtımında kullanılan koagülasyon ve flokülasyon gibi kimyasal prosesler sonucunda uzaklaştırılması gereken sıvı, gaz ve katı formlarda organik ve inorganik bileşikler içeren büyük miktarlarda atık çamur ortaya çıkmaktadır.

İçme suyu arıtımında kullanılan alüminyum ve demir içerikli koagülan maddelerin suya eklenmesi ile birlikte kil, silt, organik ve inorganik maddeler de çökerek, demir hidroksit ve alüminyum hidroksit bileşiklerini de içeren inorganik

çamurlar oluşmaktadır. Bunun yanı sıra su arıtma çamurları patojenler (bakteri, virüs ve protistler), organik halojenli kirleticiler ve konsantre hale gelmiş metalleri de içermektedir (Sotero-Santos ve ark., 2005). İçme suyu arıtma proseslerinden kaynaklanan çamur üretiminin, genellikle arıtma prosesi boyunca ham su kullanımının hacimce %1-3'ü olduğu tahmin edilmektedir. Yoğunlaştırılmış çamurun katı içeriği tipik olarak %2-4'tür ve mekanik olarak suyu alınmış çamur (santrifüj yoluyla) %17 ile %23 arasında değişmektedir (Dassanayake ve ark., 2015). Alüm çamuru ağırlıklı olarak alüminyum hidroksit, mil, kum, kil ve ağır metalleri içermektedir. Çamur, daha sonra kullanılmak üzere geri kazanılabilecek yüksek konsantrasyonlarda alüminyum içerir. Bu nedenle, çamurun doğrudan düzenli depolama sahalarına, sucul ortamlara ve araziye uygulanması sürdürülebilir bir çözüm değildir. Ayrıca su arıtma tesisi çamurları çok yüksek miktarlarda su da içermektedir. Bu çamurların uzaklaştırılması tesis için zorunlu ve maliyetli bir işlemdir.

Arıtma çamurları içerisindeki alüm ve demir hidroksitler amfoterik özelliklerinden dolayı hem bazik hem de asidik ortamda çözünürler. Sistemin pH'sı basit olarak ayarlanarak liç yöntemiyle metal hidroksitler geri kazanılabilir ve koagülan olarak tekrar kullanılabilir (Kalat, 2002). Farklı çalışmalardan yapılan bir derlemede alum çamuruna ait fizikokimyasal özellikler için aralık değerler tespit edilmiştir, bu parametreler ve aralık değerleri Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada (Awab ve ark., 2012) içme suyu arıtma çamurunun (WTS) fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. WTS, Semangar su arıtma tesisi, Kota Tinggi, Johor, Malezya'dan elde edilmiştir. Yoğunluğu, parçacık yoğunluğu, gözeneklilik, yüzey alanı, parçacık boyutu, nem içeriği, kül içeriği, kimyasal bileşim, ağır metallerin sızabilirliği, pH ve toplam organik karbon (TOK) belirlenmiştir. Sonuçlar, WTS'nin partikül boyutu, yığın yoğunluğu ve partikül yoğunluğunun sırasıyla 2-5 μm , $0.831 \pm 0.061 \text{ g/cm}^3$ ve $2.66 \pm 0.029 \text{ g/cm}^3$ olduğunu göstermiştir. Çamur, %29 nem içermektedir ve pH değeri 4.28'dir. WTS'nin, partiküller arası bağlama için kullanılabilir yüzey alanı sağlayan küçük partikülat malzemeler nedeniyle nispeten yüksek bir adsorpsiyon kapasitesi sağlaması beklenmektedir.

Çizelge 2.1. Alüm çamurunun fizikokimyasal özellikleri (Dassanayake ve ark., 2015)

Parametre	Aralık Değer
pH	5.12-8.0
Elektriksel iletkenlik (dS/m)	0.36-1.66
Kasyon değiştirme kapasitesi (cmol kg ⁻¹)	13.6-56.5
Kum (%)	60.4-69.0
Silt (%)	17-23
Kil (%)	14-16.6
Toplam karbon (g kg ⁻¹)	127-188
Organik madde (g kg ⁻¹)	63-144
Toplam N (g kg ⁻¹)	4.0-4.8
NH ₄ -N (g kg ⁻¹)	0.022-0.263
NO ₃ -N (g kg ⁻¹)	0.035-0.298
Toplam P (g kg ⁻¹)	3.13-3.5
Toplam Al (g kg ⁻¹)	27-153
Toplam Fe (g kg ⁻¹)	4.87-37
Toplam Ca (g kg ⁻¹)	2.2-11.7
Toplam Mg (g kg ⁻¹)	2.4-7.9
Toplam Mn (g kg ⁻¹)	0.8-2.99
Toplam Zn (mg kg ⁻¹)	53.3-160
Toplam Cu (mg kg ⁻¹)	35-624
Toplam Ni (mg kg ⁻¹)	10.9-60
Toplam Pb (mg kg ⁻¹)	2.5-69
Toplam Cr (mg kg ⁻¹)	19.1-81
Toplam Cd (mg kg ⁻¹)	0.12
Toplam Hg (mg kg ⁻¹)	0.02-0.46
Cl ⁻¹ (mg kg ⁻¹)	15.89-16.41
SO ₄ ⁻² (mg kg ⁻¹)	8.57-9.73

2.2. İçme Suyu Arıtma Tesisleri Çamurlarının Yeniden Kullanım Alanları

İçme suyu ve atıksu arıtma tesislerinde farklı arıtma prosesleri sonucunda tesisten uzaklaştırılması gereken kimyasal ve biyolojik çamurlar oluşmaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde anaerobik stabilizasyon uygulanarak enerji eldesi, klasik çamur arıtımı üniteleri sonrasında çamurun tarımsal faaliyetlerde kullanımı veya araziye uygulanması gibi faydalı kullanım amaçları laboratuvar ve tesis ölçekli olarak çamurun değerlendirilmesi uygulamaları mevcuttur. Ancak içme suyu arıtma tesislerinde oluşan çamurun kimyasal özellikleri, toksik içeriği ve biyolojik olarak parçalanamaması gibi temel özellikleri nedeniyle yeniden kullanım alanları oldukça sınırlıdır. Literatürde çoğunlukla laboratuvar ölçekli, kısmen de tesis ölçekli uygulamalarda içme suyu tesisi çamurlarının da farklı faydalı kullanım alanlarına sahip olduğu sınırlı sayıda çalışma tespit edilmiş ve aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

2.1.1. Yapı Malzemesi Olarak ve Farklı Endüstrilerde Kullanımı

Yapılan bir çalışmada (Liu ve ark., 2020), içme suyu arıtma çamurunun beton parke taşlarında (CPB) kum ikamesi olarak kullanma potansiyeli araştırılmıştır. Arıtma çamurunun inşaat malzemesi olarak yeniden kullanılmasının, daha yeşil beton ürün geliştirilmesine ve aşırı çamur üretiminden kaynaklanan zararlı çevre etkisinin azaltılmasına katkıda bulunabileceği öngörülmüştür. %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çamur ilavesiyle beş farklı CPB karışımı tasarlanmış ve basınç dayanımı, su emme, aşınma direnci, sülfat yakalama ve metal sızabilirliği gibi özellikleri belirlenmiştir. Sonuçlar, %10'unun üzerinde çamur kum değiştirme oranının CPB'nin bu tür özelliklerine zararlı olduğunu göstermiştir. Çamurun %10'dan fazla oranda ilavesi CPB'de, finişerlerin su emme gereksinimini karşılamamış ve ayrıca aşınma testine başladıktan sonra hızla hasar görmüştür. Sert ortamlarda finişerlerin dayanıklılığı için, %10'a kadar çamur içeren CPB, kompozitlerin referans karışımı olarak sodyum sülfat saldırısına karşı direncini koruyabilmiştir. Hem kimyasal hem de fiziksel sodyum sülfat saldırısı nedeniyle daha yüksek çamur içeriğine sahip CPB'de ciddi dökülme gözlemlenmiştir. Mikroyapı analizi, çamur ilavesinin çamurun kükürt içeriği nedeniyle etrenjit oluşumuna neden olabileceğini ve çimento matrisi ile çamur arasındaki arayüzey geçiş bölgesinin kumunkinden daha gözenekli olduğunu kanıtlamıştır. Deneysel sonuçlar, çamurun ince agregaların yerini almak için kullanılabileceğini ve

CPB'deki maksimum çamur içeriğinin serme kriterlerine bağlı olarak %10'a kadar çıkabileceğini kanıtlamıştır.

Yapılan bir çalışmada (Hegazy ve ark., 2012), pirinç kabuğu külü (RHA) ile birleştirilen su arıtma çamuru ile tuğla kilinin tamamen ikame edilmesi araştırılmıştır. Binlerce yıldır kilden tuğlalar yapılmıştır. Su arıtma tesisi çamuru, kimyasal bileşimde tuğla kiline oldukça yakındır. Bu nedenle çamur, tuğla kil için potansiyel bir ikame olabileceği düşünülmüştür. Tüm bertaraf seçenekleri arasında, yapı elemanlarının üretiminde çamur kullanımı en ekonomik ve çevreye duyarlı seçenek olarak kabul edilmektedir. Yüksek silika içeriği içeren ve tuğla imalatında çamurla birleştirilebilecek en yaygın tarımsal atıklardan biri pirinç kabuğu külüdür. Bu nedenle, bu eğilim aynı zamanda pirinç kabuğu külünün yeniden kullanılması için çevreye duyarlı bir yöntem sağlayacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada, sadece çamur-RHA karışımının toplam ağırlığının %25, 50 ve 75 oranlarında çamur ilavesini içeren üç farklı çamur-pirinç kabuğu külü oranları incelenmiştir. Her tuğla serisi 900, 1000, 1100 ve 1200 °C'de fırınlanmıştır. Üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri Mısır Standart Şartnamelerine göre değerlendirilmiş ve tamamen kilden yapılmış kontrol tuğlası ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, tuğla fırında yaygın olarak uygulanan sıcaklıkta çalışılarak, %75'in çamur-RHA karışımından tuğla üretmek için optimum çamur ilavesi olduğu sonucuna varılmıştır. Üretilen tuğlaların özellikleri, kil kontrol tuğlasından ve Mısır pazarında bulunanlardan daha üstün bulunmuştur. Bu çalışmanın sonucunda su arıtma tesisi çamurunun, tarımsal atık malzemelerle birleştirilen tuğla kil için başarılı bir kısmi ikame olabileceği belirtilmiştir.

Yapılan bir çalışmada (Cremades ve ark., 2018), çamurun nihai bertarafına alternatif olarak karo üretimi için kaplama seramik malzemesi üretiminde püskürtmeyle kurutulmuş içme suyu arıtma tesisi çamurunun (DWTP) kullanımı incelenmiştir. Çalışma, laboratuvar ölçeğinde yapılan deneysel bir çalışmaya dayanmaktadır. Kil ve püskürtülerek kurutulmuş DWTP çamuru (ağırlıkça %3'lük ortalama nem), ekstrüde edilecek bir bulamaç oluşturmak için farklı çamur yüzdeleri (ağırlıkça % 0 ila % 70) ile karıştırılmıştır. Örnekler daha sonra 980 °C'ye kadar fırınlanmış, kimyasal ve mineralojik bileşimi ve teknik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar DWTP çamurunun düşük organik içerikli ve yüksek mikronize kireç içerikli (ağırlıkça % 14.4 kalsiyum oksit) bir toz haline geldiğini göstermiştir. Seramik numuneleri, çamur ekleme yüzdesindeki artışla artan yüksek bir açık gözenekliliğe sahiptir. Ayrıca yüksek bir dilatometrik katsayıları vardır. Bu iki özelliği hesaba katarak, ortaya çıkan seramik

malzeme, sızıntı testini ve hızlandırılmış gaz giderme testlerini çok geride bırakarak herhangi bir çevresel sorun oluşturmamıştır. DWTP çamurunun püskürtülerek kurutulması, çamurun, seramik kaplama endüstrisinde bilinen bir işlem olan bir bulamaç olarak kullanılmasına izin vermiştir. Atomize etme işlemi sayesinde düşük organik içerikli ve yüksek mikronize kalkerli içerikli bir toz elde edilmiştir. Bulamacı hazırlamak için gerekli nem ve ekstrüzyon basıncı koşulları kontrol edilirse, bu tozun % 100'e kadarı karo imalatı için eklenebilir, ancak bu daha fazla araştırma gerektirecektir. DWTP çamuru ilavesi ile elde edilen seramik karoların yüksek açık gözenekliliği, kaplamasız malzeme (emaye, sır vb.) olarak dışarıda kullanılmasını engeller. Bununla birlikte, yüksek dilatometrik katsayısı, bu malzemenin karo üretiminde bisküvi ve emaye arasında bir termal gerilim düzeltici olarak uygulanabilirliğini değerlendirmeyi mümkün kılmaktadır. DWTP çamurunun geri dönüşümü için bu alternatif, çevre açısından çifte avantaja sahip olabilir: Kontrollü depolama sahalarında yerden tasarruf ve dolayısıyla daha az çevresel etki (atık, bir hammaddeye veya katma değerli ürüne dönüştürülür); fayans üretiminde hammaddenin (kil) bir kısmının DWTP çamuru ile değiştirilmesiyle ham kaynaklarda tasarruf. Bu çevresel avantajlar göz önüne alındığında, temiz bir üretim tesisi olarak kabul edilen Sant Joan Despí DWTP, bu çamur atomizasyon teknolojisini geniş ölçekte uygulamaya karar vermiştir. Sprey ile kurutulmuş DWTP çamuru ile ilgili olarak, karakteristik rengini hesaba katarak, tuğlalarda veya yapısal seramik parçalarında koyu sarı renkler elde etmek için bir renklendirici katkı maddesi olarak faydalı olabileceği belirtilmiştir.

2.1.2. Zirai Alanlarda Kullanımı

Yapılan bir çalışmada (Taek-Keun ve ark., 2010) sebze yetiştirmek için topraklara su arıtma çamurunun (WTS) uygulanmasının etkinliği incelenmiştir. Başlangıçta, orijinal WTS'nin özellikleri, su içeriğinin fiziksel özellikleri, gözeneklilik, kuru yoğunluk, ayrılmış granit (DG) toprak ve volkanik kül (VA) toprakları doymuş hidrolik iletkenlik ve pH, elektriksel iletkenlik, organik madde içeriği, katyon değiştirme kapasitesi, fosfat adsorpsiyon katsayısı ve C, N ve H içerikleri incelenmiştir. Marul (*Lactuca sativa L.*), 0 (N-P-K standart gübre uygulaması), 4.5 ve 9.0 Mg/ha oranlarında WTS ile karıştırılmış DG toprağı ve VA toprağı ile doldurulmuş saksılar kullanılarak 20 °C sıcaklıkta bir fitotron odasına yetiştirilmiştir. VA toprağına 4.5 ve 9.0 Mg/ha oranlarında çamur ilavesiyle yetiştirilen marul verimleri, 0 Mg/ha çamur ilavesi

ile karşılaştırıldığında sırasıyla %38 ve %7 daha düşük elde edilmiştir. Bununla birlikte, DG toprağındaki verim, 0 Mg/ha çamur ilavesine kıyasla sırasıyla %72 (4.5 Mg/ha WTS ilavesi) ve %71 (9.0 Mg/ha WTS ilavesi) ile önemli ölçüde daha yüksektir. Bu sonuçlar, WTS'nin arazi uygulamasının DG toprağı gibi organik madde eksikliği olan topraklara olumlu, ancak VA toprağı gibi verimli topraklara olumsuz etki edebileceğini göstermektedir. WTS, bir toprak değışikliğı ve bitki büyüme ortamı olarak çevresel arazi uygulaması potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, WTS uygulamaları ile toprak örnekleri ve marul gelişimini iyileştirme olasılığını değerlendirmek için yapılmıştır. Bu deney için kullanılan WTS'nin temel kimyasal bileşimleri, fiziko-kimyasal özellikleri ve ağır metal konsantrasyonları, WTS'nin arazi uygulamalarında herhangi bir tehlikeli ve olumsuz etki sorun yaratmayacağını göstermiştir. WTS, DG toprağının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi için uygun bir malzemedir. Bu deneyde DG toprak muameleleri, %25 ve %50 WTS ilavesiyle artarken, VA toprağında %0 WTS ilavesine göre %25 ve %50 WTS muameleleri için verim azalmıştır. Bu nedenle, WTS'nin VA toprağına atılması tavsiye edilmemiştir. Bu gözlemlerden, WTS'nin organik madde eksikliği olan topraklarda tarımsal ikame ve düşük seviyeli gübre olarak veya arazi ıslahı için toprak ikamesi olarak kullanılması önerilebileceğı sonucuna varılmıştır.

Arıtma çamurlarının *Cynodon dactylon* (L.) Pers ile kurulu çim alanlarda kullanılabilmesinin hedeflendiğı bir çalışmada (Çetinkale, 2009) Batı Adana atıksu arıtma tesisi ile Çatalan içme suyu arıtma tesisinden alınan arıtma çamurları kapak malzemesi olarak denenmiştir. Alan denemeleri üç blokta (80 cm x 320 cm), saksı denemeleri ise her tekerrürde 5 saksı olacak şekilde toplam 75 saksı içerisinde açık alanda yürütölmüştür. Atomik absorbsiyon spektrometresi kullanılarak yapılan analizlerde; bitkide ve toprakta biriken nikel (Ni) toprakta 31 Mayıs 2005 tarihli 25831 sayılı Resmi Gazate'de yayınlanan "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliğı"ne göre sınır değerlerin üzerinde (75 mg/kg) iken, bakır (Cu) ağır metal miktarı sınır değerlerin altında (140 mg/kg) çıkmıştır. Bitkide ele alınan kriterler; örtölölük, bitki boyu, sürgün çapı, kardeşlenme, yaprak ayası uzunluğı, yaprak ayası genişliğı, yaprak yası uzunluğı/yaprak ayası genişliğı indeksi, renk, çiçek başağı oluşumu, yabancı ot oluşumu ve yabancı ot çeşitliliğidir. Sonuç olarak incelenen kriterler çerçevesinde *C. dactylon* (L.) Pers. türünde herhangi bir olumsuz etki görölmemiştir. Sonuç olarak; gerek atıksu ve gerekse içme suyu arıtma çamurlarının kapak malzemesi olarak yoğun bir şekilde uygulanması çim alanlarda olumsuz bir etki ortaya çıkarmamıştır. Sadece

hızlı büyüme nedeniyle biçim sayısının artması tek olumsuz yön olarak görülmüştür. Çim alanlarda arıtma çamurlarının yoğun uygulamasının Cu ve Ni dışındaki ağır metaller yönünden belirlenmemesi bu çalışmanın en önemli eksikliğidir. Bu çalışmanın bütün ağır metalleri içine alacak şekilde ve daha uzun sürelerde yapılması daha sağlıklı sonuçların elde edilmesi ve konunun daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlayacaktır. Elde edilmesi kolay ve ekonomik olması nedeniyle kullanımı tercih edilebilen arıtma çamurlarının toprak ve su kirliliğine yol açmaması için ilgili yasal düzenlemelerde ortaya konulan koşullara uyulması durumunda kent içinde çim alanlarda kapak malzemesi olarak kullanımı uygun olduğu belirlenmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada (Çelik ve ark., 2009), Kocaeli’nde bulunan içme suyu tesisi arıtma çamurunun *Freesia spp.* yetiştiriciliğinde yetiştirme ortamında kullanılarak çiçeklenme özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırma, 2004-2005 yıllarında plastik sera koşullarındaki yer yastıklarında gerçekleştirilmiştir. Dikim yastıklarına arıtma çamuru vejetasyon başlangıcında 0, 30, 60, 120 t/ha hesabı ile uygulanmıştır. Deneme süresince yastıklarda çimlenen bitki sayısı, bitki başına elde edilen başak sayısı, her bir başaktaki kandil sayısı ve başak uzunlukları ölçülerek kaydedilmiştir. Sonuçta; artan çamur uygulamaları ile çimlenen bitki sayısı ve bitki başına elde edilen başak sayısı arasında istatistikî olarak bir fark olmamasına karşın, kontrol en düşük değer olarak kalmıştır. Denemede, özellikle başaklardaki kandil sayısının çokluğu yönünden kontrol ile yapılan kıyaslamada 30 t/ha uygulamasının 0.05 düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır. Yapılan değerlendirmelerde artan miktarlarda toprağa uygulanan arıtma çamurları, denemede ele alınan *Freesia spp.* bitkisinin çiçeklenme özelliklerini çoğu parametrede kontrole göre olumlu yönde etkilemiştir. Bu etki genelde 30 t/ha ve 60 t/ha uygulamalarından elde edilmiştir. Arıtma çamurlarının içermiş olabileceği tuzluluk ve ağır metal içeriklerinin incelenmesi, uygulandıkları toprağın özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu tür analizlerin her yıl tekrarlanarak sınır değerlerini aşmaması kontrol edilmelidir. Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımı, çamurun bertarafında çekici gözüken bir uygulamadır. Ancak, çamurlardaki kirlilik etmenlerinin toprak-bitki hayvan ve insan sağlığı için riskli yönleri bulunmaktadır. Bu nedenle, arıtma çamurlarının gideriminde tarımsal amaçlı kullanımın uygunluğuna yönelik araştırmalar daha çok süs bitkileri yönünde olmalıdır.

2.1.3. Su/Atıksulardan Kirletici Maddelerin Gideriminde Kullanımı

İçme suyu artıma tesisi çamurlarından su ve atıksuların arıtımında farklı formlarda yararlanılabilmektedir. Atıksulardan organik madde veya ağır metallerin gideriminde, koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon, çökeltme gibi farklı proseslerde, kurutulmuş çamur veya bazı öne işlemlere tabi tutulmuş çamurlar kullanılabilmektedir. Bunun yanı sıra çamurdan alüminyum veya demir geri kazanılarak yeniden kullanımı sağlanabilmektedir.

Yapılan bir çalışmada (Nair ve Ahammed, 2015a) alüminyum bazlı su arıtma çamuru, evsel atıksu yukarı akışlı anaerobik çamur blanket reaktörünün (UASB) arıtımından çıkan fosfat uzaklaştırma/geri kazanım için pıhtılaştırıcı olarak kullanılmıştır. Üç değişkenin etkisi, yani çamur dozu, başlangıç pH'sı ve pıhtılaştırıcı (polialüminyum klorür, PACl) dozu, yanıt yüzeyi metodolojisi kullanılarak çalışılmıştır. Optimum koşullarda yaklaşık %87 fosfat giderimi elde edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada (Nair ve Ahammed, 2015b), polialüminyum klorür bazlı su arıtma çamurunun kentsel atıksu arıtımının sağlandığı yukarı akışlı anaerobik çamur blanket (UASB) reaktörünün son arıtımı için pıhtılaştırıcı olarak yeniden kullanılmasının fizibilitesi değerlendirilmiştir. Pıhtılaşma/yumaklaştırma sürecini etkileyen üç değişkeni (çamur dozu, başlangıç pH'ı ve taze pıhtılaştırıcı dozu) optimize etmek için Box-Behnken tasarımı ile yanıt yüzey metodolojisi kullanılmıştır. Modelleme çalışmasının sonuçları aşağıdaki optimum koşulları vermiştir: çamur dozu 15 g/L, başlangıç pH 9 ve pıhtılaştırıcı dozu 4.2 mg Al/L; ve %72 KOİ giderimi ve %88 bulanıklık giderimi öngörülmüştür. Optimum koşullarda yapılan doğrulayıcı deneyler, tahmin edilen değerlerle uyum içinde olan %74 KOİ ve %89 bulanıklık giderimi sağlamıştır. Ayrıca, optimum koşullarda yüksek fosfat (%79), askıda katı maddeler (%84), BOİ (%78) ve toplam koliform (%99.7) giderimi elde edilmiştir.

Zeytin değirmeni atıksuyu (OMW), Akdeniz ülkelerinde önemli bir geleneksel tarımsal endüstri olan zeytinyağının üretiminden kaynaklanmaktadır. Sürekli üç fazlı santrifüjlemede, işlenmiş bir ton zeytinin başına 1.0-1.2 m³ OMW üretilir. OMW'nin deşarjı, fenolik bileşikler olarak adlandırılan fitotoksik özelliklere sahip yüksek organik madde içeriği nedeniyle ciddi çevresel kaygılardır. Yapılan bir çalışmanın (Fragoso ve Duarte, 2012) amacı DWTS'nin OMW arıtımı için yeniden kullanılmasının değerlendirilmesidir. Mevcut fenolik bileşikleri belirlemek ve bunların inatçı olup olmadığını değerlendirmek için yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC) analizi

gerçekleştirilmiştir. Arıtılabilirlik analizleri, 50 ila 300 g/L arasında bir DWTS dozu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Arıtma verimliliği, kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacının (BOİ), toplam katıların (TKM), toplam askıda katıların (TAKM), toplam uçucu katıların (TVS), yağ ve gresin (OG) giderilmesine göre değerlendirilmiştir. 200–300 g/L DWTS eklenmesi KOİ'nin %40–50'sini, TP'nin %45–50'sini, %70 TAKM'yi ve TKM ve TVS için %45'ini azaltmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada elde edilen sonuçların, DWTS'nin KOİ, katı maddeler, OG ve TP'nin OMW'den uzaklaştırılmasında etkili olduğunu göstermesi nedeniyle cesaret verici olduğu belirtilmiştir.

Süt endüstrisi, arıtılmadan deşarj edilirse çevreyi olumsuz etkileyebilecek büyük hacimli atıksu ürettiği için en kirletici endüstriler arasındadır. Süt ürünleri atıksuyu, yüksek KOİ, BOİ ve besin seviyeleri ile karakterizedir. Yapılan çalışmada (Suman ve ark., 2018), su arıtma çamuru, 4–10 pH aralığında sentetik süt atıklarının arıtılmasında pıhtılaştırıcı olarak kullanılmıştır. Sentetik süt atıksuyundan bulanıklık, KOİ, BOİ, TKM ve TÇM giderimi, optimum koşullarda sırasıyla %93, 65, 67, 84 ve 85 civarında bulunmuştur. Su arıtma çamurunun, aynı amaçla kullanılan diğer geleneksel pıhtılaştırıcılardan daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Sonuçlar, süt ürünleri atıksuyunun birincil arıtımında geleneksel pıhtılaştırıcıları kısmen veya tamamen ikame etme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada CWTS kullanılarak koagülasyon/flokülasyon işlemi ile SDW'nin fizikokimyasal arıtımı başarıyla gerçekleştirilmiştir. pH 7 ve CWTS dozu 25 ml/L'de maksimum %93 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. SDW'den KOİ (%65), BOİ (%67), TKM (%84) ve TÇM' nin (%85) önemli ölçüde uzaklaştırılması optimum koşullarda sağlanmıştır. Atıkların su arıtma tesislerinden süt ürünleri atıksu arıtma tesislerine geri dönüştürülmesi, WTS'nin yapıcı bir şekilde kullanılmasını ve sürdürülebilir bir şekilde bertaraf edilmesini sağlarken, aynı zamanda süt ürünleri atıksuyunun uygun maliyetli fizikokimyasal arıtımını da sağlayacaktır.

Yapılan bir çalışmada (Ahmad ve ark., 2016), laboratuvar ölçeğinde optimum alüm dozu 30 mL/L ile üretilen WTS, çamur reaktif ürünü (SRP) olarak bilinen bir ürünü ortaya çıkarmak için sülfürik asit ile muamele edilmiştir. SRP'nin performansı, koloidal süspansiyonların 2-13 geniş pH aralığında Yamuna nehri suyundan uzaklaştırılmasındaki etkinliği açısından değerlendirilmiştir. 0,05 mL/mL çamur sülfürik asit ile asitlendirilmiş %1 çamur WTS'den SRP hazırlamak için optimum koşul olarak gözlenmiştir. Arıtılmış suyun kalitesi, kalite parametrelerinin çoğu için belirlenen

standartları karşılamıştır. Bu nedenle, SRP, kullanıcının ihtiyaç duyduğu kaliteye bağlı olarak su arıtma sürecinde geleneksel pıhtılaştırıcıları kısmen veya tamamen ikame etme potansiyeline sahiptir. Optimum alum dozunda koagülasyon flokülasyon işleminde üretilen çamur %4.2 katı içeriğe, %9.58 Al ve % 7.44 Fe'ye sahiptir. Üretilen çamurdan %1 konsantrasyonda hazırlanan ve 0.05 mL/mL 2.5 N H₂SO₄ çamur ile asitleştirilen SRP, Yamuna suyundan bulanıklık giderme yüzdesinde iyi performans göstermiştir. Yamuna suyunun arıtılması için optimum SRP dozu olarak seçilen 8 mL/L uygulama oranı mükemmel sonuçlar vermiştir. SRP'nin su arıtma çamurundan asitleştirme süreci yoluyla hazırlanması, su arıtma çamuru yönetimi için uygun bir alternatif sunarak hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik sunar.

Yapılan bir çalışmada (Shahin ve ark., 2019), bakır iyonlarının (Cu⁺²) çamur üzerine adsorpsiyonu çeşitli işletme koşulları altında araştırılmıştır. Çamurun sorpsiyon kapasitesi doğrudan başlangıç Cu⁺² konsantrasyonu ile orantılı ve çamur dozajı ile ters orantılıdır. Optimum operasyonel pH ve çözelti sıcaklığı sırasıyla 6.6 ve 80°C idi. Hazırlanan çamurun optimum koşullar altında sulu bir çözeltiden Cu⁺²'in uzaklaştırılması için mükemmel bir adsorban malzeme olacağı belirtilmiştir. Sonuç olarak; bu çalışmanın temel amacı, bir içme suyu arıtma tesisinden yüksek oranda ve verimli çamurdan bakır iyonlarının giderilmesi için verimli ve düşük maliyetli adsorban üretilmesidir. Adsorpsiyon süreci için, optimum pH, etkili konsantrasyon, adsorban dozajı, reaksiyon süresi ve sıcaklık optimize edilmiştir. Kalsine çamurun sulu çözeltisinin bakır iyonunun uzaklaştırılması için uygun bir adsorpsiyon malzemesi olduğu ve çevre üzerindeki yükleri azaltacağı belirtilmiştir.

Alum kaynaklı su arıtma çamuru kullanılarak sulu çözeltiden Pb(II), Cr(III) ve Cr(VI) 'nın adsorpsiyonu kesikli adsorpsiyon tekniği kullanılarak incelenmiştir (Zhou ve Haynes, 2011). Maksimum sorpsiyon kapasitesi ve sorpsiyon yoğunluğu indisleri Cr(III)> Pb(II)> Cr(VI) şeklinde elde edilmiştir. Sorpsiyon pH'a bağımlı bulunmuştur, Cr(III) ve Pb(II)'nin yüzde sorpsiyonu pH 3 ile 6 arasında <%30'dan %100'e yükselirken, Cr(VI)'ninki ise pH 5 ile 8 arasında büyük ölçüde azalmıştır. Su arıtma çamurunun atıksu akışlarından Cr ve Pb'nin giderilmesi için düşük maliyetli bir adsorban malzeme geliştirmek için uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma, kullanılmış alum türevi su arıtma çamurunun, genellikle düzenli depolama alanlarına atılan bir malzemenin, sulu çözeltilerden Cr(III), Pb(II) ve Cr(VI)'nin adsorpsiyonu için etkili bir adsorban olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Su arıtma tesislerinden çıkan atık ürün olan alüminyum esaslı su arıtma çamurunun (WTS), diğer ağır metallerle birlikte yüksek konsantrasyonlarda bakır ve krom içeren elektro kaplama atıksuyundan ağır metallerin uzaklaştırılması için uygunluğu incelenmiştir (Ghorpade ve Ahammed, 2018). Tekli ve çok metalli çözeltilerde simüle edilmiş atıksu ile yapılan kesikli deneyleri, ilk pH ve WTS dozunun, Cu(II), Co(II), Cr(VI), Hg(II), Pb(II) ve Zn(II) olmak üzere altı metalin giderilmesi üzerindeki etkisini göstermiştir. Genel olarak, Pb(II), Cu(II) ve Zn(II) gibi katyonik metallerin uzaklaştırılması, pH'daki artışla artarken, anyonik Cr(VI)'ninki, artan pH değerleriyle bir azalma göstermiştir. Çoklu metal çözelti ile yapılan testler, rekabetin etkisinin daha düşük WTS dozlarında daha belirgin olduğunu göstermiştir. Seyreltilmiş (100 kez) gerçek elektro kaplama atıksuyu ile kolon testi akışın 100 yatak hacmine kadar tamamen uzaklaştırıldığını gösterirken, kromun uzaklaştırılması %78-92 arasında değişmiştir. Daha düşük konsantrasyonlarda bulunan diğer metaller de etkili bir şekilde giderilmiştir. Farklı WTS dozları ile yapılan testler, tek metal çözelti ile karşılaştırıldığında çoklu metal sistemde farklı metallerin daha az giderildiğini göstermiştir. Ancak bu etki, daha düşük WTS dozlarında daha belirgindir. Dolayısıyla bu çalışma, su arıtma çamurunun metal içeren atıksulardaki metaller için iyi bir adsorplama ortamı olabileceğini göstermektedir.

Yapılan bir çalışmada (Wu ve ark., 2004), su arıtım çamurunu kullanışlı ve kararlı bir adsorpsiyon malzemesine dönüştürmek için sinterleme teknolojisi kullanılmıştır. Sinterlenmiş malzemelerin özellikleri SEM ve BET kullanılarak karakterize edilmiştir. Ek olarak, su ve sinterlenmiş malzeme arasındaki ara yüzde Cr(III) ve Hg(II) etkileşimlerini aydınlatmak için adsorpsiyon deneyleri yapılmıştır. BET ölçümü, sinterlenmiş malzemenin özgül yüzey alanının $4.6 \text{ m}^2/\text{g}$ olduğunu göstermiştir. SiO_2 içeriği %50'yi aştığı için sinterlenen malzemenin yüzeyi negatif yüklü hale gelir. Cr(III) ve Hg(II)'nin sinterlenmiş malzeme üzerine adsorpsiyonu, sorpsiyonun sistemin pH'ına bağlı olduğunu gösterir. Sorpsiyon yoğunlukları denge pH 4.6'da 1.40 mg Cr/g ve denge pH 6.0'da 0.43 mg Hg/g 'dir. Zemin elektrolit düzeyi, Cr(III)'ün emilimini etkilemez, ancak Hg(II)'nin emilimini önemli ölçüde etkiler. Deneysel sonuçlar, daha yüksek bir rekabetçi çözünen konsantrasyonunun Hg(II) üzerinde daha önemli bir rekabetçi etkiye neden olduğunu göstermektedir. Suyun arıtılmasından sonra kalan su arıtma tesisi çamuru çeşitli metal oksitler içerir. Sinterleme yoluyla geri dönüştürmek, su arıtma tesisindeki zararlı maddelerin çevreye salınmasını etkili bir şekilde önleyebilmektedir. Sinterleme ve yeniden kullanım sadece

su arıtma tesisi çamurunun bertarafı sorununu çözmekle kalmaz, aynı zamanda doğal kaynak tüketimini de azaltmaktadır.

Yapılan bir çalışmada (Moghaddam ve ark., 2010), sulu çözeltilerden asit kırmızısı 119 (AR119) boyasının giderilmesi için bir su arıtma tesisi (Tahran, İran) demir klorür çamurunun (FCS) performansı incelenmiştir. Bu amaçla, başlangıç pH, pıhtılaştırıcı dozajı ve başlangıç boya konsantrasyonu dâhil olmak üzere pıhtılaştırma/yumaklaştırma işleminin üç çalışma değişkenini optimize etmek için yanıt yüzey metodolojisi (RSM) uygulanmıştır. Sonuçlar, başlangıç pH'sındaki düşüşün, boya gideriminin artırılması için her zaman yararlı olduğunu ve kullanılan maksimum FCS dozajında bile yeniden stabilizasyon olgusunun meydana gelmediğini göstermiştir. FCS'nin demir hidroksitleri, boya molekülleri üzerindeki negatif yükleri nötralize edebildiği veya boya moleküllerinin yakalanmasına neden olabildiği; bu nedenle, süpürme flokülasyonu ve/veya yük nötralizasyonu, boya gideriminin geliştirilmesinde önemli roller oynayabildiği belirtilmiştir. Optimum başlangıç pH'ı, FCS dozajı ve başlangıç boya konsantrasyonu sırasıyla 3.5, 236.68 mg kurutulmuş FCS/L ve 65.91 mg/L olarak bulunmuştur. %96.53'lük boya giderimi gözlenmiştir, bu da RSM sonuçlarına yakın olduğunu doğrulamıştır. Bu nedenle, FCS'nin atıksu arıtma tesislerinde pıhtılaştırma/yumaklaştırma işleminde düşük maliyetli bir malzeme olarak yeniden kullanılmasının, AR119 boya giderimi için yüksek verimlilik ve genel arıtma tesisi işletme maliyetlerinde ekonomik tasarruf gibi bazı avantajlar sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

Atıksularda bulunan fazla fosfor alıcı ortamlardaki ötrofikasyonun temel nedenlerinden biridir. Ötrofikasyonun bir sonucu olarak, özellikle göl ve körfezlerde su kalitesi olumsuz yönde etkilenmekte ve doğal ekolojik denge bozulmaktadır. Fosfat giderimi için hem biyolojik hem de fiziko-kimyasal prosesler kullanılmaktadır. Yapılan bir çalışmanın (Erkan, 2013) amacı, sulu çözeltilerden fosfat giderimi için içme suyu arıtma tesisi çamurunun (alüm çamuru) adsorban olarak kullanımının uygunluğunu incelemektir. Adsorbanın fiziksel ve kimyasal karakterizasyonu yapılmıştır. Kesikli adsorpsiyon çalışmalarında adsorban dozunun, başlangıç fosfat derişiminin, temas süresinin, başlangıç pH'sının ve sıcaklığın adsorpsiyon üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Alüm çamurunun adsorban olarak kullanılmasıyla sulu çözeltilerden %84 fosfat giderimi sağlanmıştır. Termodinamik çalışmalarda, alüm çamuruyla fosfat adsorpsiyonunun kendiliğinden gerçekleştiğini ve endotermik olduğunu göstermiştir. Atıksudan fosfat adsorpsiyonuna adsorban miktarı, fosfat derişimi, temas süresi,

başlangıç pH'sı ve ortam sıcaklığının etkisi araştırılmış, desorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Alüm çamuru ile fosfat giderimi üzerine yapılan çalışmalarda ilk olarak adsorban miktarlarının fosfat giderimine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmaların sonunda 30 g/L üzerinde adsorban miktarlarında fosfat derişiminin değışmediğı, dengeye ulaştığı görölmüştür. Fosfat derişimlerinin arıtma tesisi çıkış suyu standartlarının altına indirilmesi için 25 g/L adsorban kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir.

Demir tuzu dozajı, kanalizasyon şebekelerinde sülfür kontrolü için en yaygın kullanılan yöntemdir, ancak yüksek kimyasal maliyetlere neden olur. Yapılan bir çalışmada (Sun ve ark., 2015), kanalizasyonlarda sülfid kontrolü için demir bakımından zengin içme suyu arıtma çamurunun kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Atıksudaki sülfid konsantrasyonu, 1:1 demir/toplam çözünmüş inorganik kükürt molar oranına (Fe:S) ulaşan bir çamur dozlama hızında 15.5'ten 19.8 mgS/L'ye (dozlama yapılmadan) 0.7-2.3 mgS/L'nin altına düşmüştür. Reaksiyon süresinin uzatılmasıyla sülfidin daha da uzaklaştırılması mümkündür. Modelleme, çamur ve sülfitteki demir arasındaki reaksiyonun, Fe ve sülfid konsantrasyonlarına göre sırasıyla 0.65 ± 0.01 ve 0.77 ± 0.02 reaksiyon sırasına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Çamur ilavesi, toplam kimyasal oksidasyon ihtiyacı (tKOİ) konsantrasyonunu beklendiğı gibi hafifçe artırmış (yaklaşık %12), ancak çözünür kimyasal oksidasyon ihtiyacı (sKOİ) konsantrasyonunu ve metan oluşumunu sırasıyla %7 ve %20 azaltmıştır. 1:1 (Fe: S) çamur dozlama hızında bir miktar fosfat giderimi de (%13) gözlenmiştir, bu da atıksudan besin giderimi için yararlıdır.

Atık alum çamurunun atık sahalarına atılmadan önce depolanması için büyük ayak izleri gerektirdiğinden, çamur bertarafı su arıtma tesislerindeki ana dezavantajlardan biridir. Çamur, daha sonra kullanılmak üzere geri kazanılabilecek yüksek konsantrasyonlarda alüminyum içerir. Asitleştirme işlemi, çamurdan alüminyumun geri kazanım oranını etkileyebilir. Sonuçlar, asitleştirme işleminden sonra alüminyumun çamurdan sızabileceğini göstermektedir. Yapılan bir araştırmada (Basri ve ark., 2005), alüminyumun minimum geri kazanım oranı %93 ve maksimum geri kazanım oranı %98'dir. Sülfürik asidin optimum molaritesi, en yüksek alüminyum konsantrasyonunu süzeabilen 1.35 M'dir. En yüksek geri kazanılan alüminyum konsantrasyonu 256.639 mg/L'dir. Geri kazanılan alüminyumun kullanımının özellikle su arıtma endüstrisinde sürdürülebilir çalışmayı teşvik edebileceğı ekonomik, sosyal ve çevresel kaygılar olmak üzere birçok fayda elde edilebilir.

Malezya'daki su arıtma tesisleri onlarca yıldır yüzey suyundaki koloidal partiküllerin uzaklaştırılması için yaygın olarak alüminyum bazlı pıhtılaştırıcı kullanmaktadır. Bu çamur olarak bilinen arazi uygulamaları için yeniden kullanılan veya çöplüklere atılan büyük miktarda yan ürün üretir. Çamur yüksek konsantrasyonda alüminyum içerdiğinden, her ikisi de ciddi çevresel sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, yapılan bir çalışmada (Ooi ve ark., 2018), asit liç işlemi kullanarak su arıtma çamurundan alüminyum geri kazanma potansiyeli araştırılmıştır. Alüminyum geri kazanım verimliliğinin değerlendirilmesi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşama, asit konsantrasyonu, katı-sıvı oranı, sıcaklık ve ısıtma süresinin etkilerini incelemek için bir seferde tek faktör (OFAT) yaklaşımını kullanmıştır. Bu arada, ikinci aşama, Response Surface Methodology (RSM) kullanılarak alüminyum geri kazanımının optimizasyonuna vurgu yapmıştır. OFAT sonuçları, artan sıcaklık ve ısınma süresiyle birlikte alüminyum kazanımının arttığını göstermiştir. Asit konsantrasyonu ve katı-sıvı oranı, bununla birlikte, başlangıçta bir artış gösterdi, ardından artan konsantrasyon ve oranla geri kazanımda azalma meydana gelmiştir. RSM, alüminyum geri kazanımının sırasıyla 4 M, % 20.9, 90°C ve 4.4 saat asit konsantrasyonu, katı-sıvı oranı, sıcaklık ve ısıtma süresinin optimum değerlerinde %70.3'e ulaşabileceğini öngörmüştür. Deneysel doğrulama, 68.8 ± 0.3 'lük bir geri kazanımı göstermiştir. CCD'li RSM, süzdürme işleminin üç faktörünü (katı-sıvı oranı, sıcaklık ve ısıtma süresi) optimize etmek için kullanılmıştır. Değişkenler arasında katı-sıvı oranının alüminyum kazanımı üzerinde en etkili değişken olduğu görülmüştür. Süzme işlemi aynı zamanda çamur hacmini de azaltabilir, dolayısıyla çamur işleme maliyetini ve atık depolama için arazi gereksinimini azaltır. Ancak bu çalışmada ekonomik yönden dikkate alınmamıştır. Bu nedenle, bu tür bir sürecin maliyet-fayda analizi gelecekteki çalışmalarda dikkate alınmalıdır.

Kimyasal olarak geliştirilmiş birincil arıtmayı (CEPT) daha uygun maliyetli hale getirmek ve alumu verimli bir şekilde geri kazanmak için, alumun koagülasyon çamurlarından geri kazanılması ve CEPT sürecinde yeniden kullanılmasının fizibilitesini incelemek için bir araştırma yapılmıştır (Xu ve ark., 2009). Çalışmada, koagülasyon çamurundan alum geri kazanımı için asitleştirme yönteminin optimum durumu ve verimliliği araştırılmıştır. Sonuçlar, alumun geri kazanım oranı en yüksek seviyesine, %84.5'e ulaştığında, çamurdaki azalma oranının %35.5 olduğunu göstermektedir. Geri kazanılan koagülantın bulanıklığı, UV254'ü ve KOİ'yi giderme kapasitesinin sırasıyla %96, %46 ve %53 olduğu tespit edilmiştir. Deneyler, su arıtma

ve kimyasal atıksu arıtmadaki pıhtılaşma çamurlarından alumu geri kazanmanın tavsiye edilebilir ve uygun maliyetli bir yol olacağını ve daha sonra CEPT'ye geri dönüştürülebileceğini ve çamur hacmini azaltabileceğini doğrulamıştır.

İran'daki su arıtma tesislerinin çoğu çamurlarını olası yan etkileri göz önünde bulundurmadan çevreye deşarj etmektedir. Bu tür çamur genellikle kirletici olarak kabul edildiğinden, su endüstrisinin çamur arıtması önemli bir görev gibi görünmektedir. Ayrıca, bu çamur metal hidroksit içerir, bu nedenle bertaraf edilmesi önemli miktarlarda değerli metal tuzlarının israfına neden olur. Bahsedilen problemlerle yüzleşmek için, yapılan çalışmada (Vaezi ve Batebi, 2001) atık çamurlardan elde edilen koagülanların yeniden kullanım için ıslahı araştırılmıştır. Geri kazanım deneylerinde kullanılan farklı kimyasallar arasında sülfürik asit, hem pratik hem de maliyet açısından daha iyi sonuçlar göstermiştir. Çamur asidifikasyonunda üç önemli olay gözlemlenmiştir: metal hidroksitin çözünmesi, çamur hacminin azalması ve son olarak daha hızlı çökeltme ve kalan çamurun kuruluğu. Tahran su arıtma tesisi çamurlarından sülfürik asit ile geri kazanılan tuz, tekstil endüstrisinden iki farklı atıksuyun arıtılmasında iyi sonuçlar veren ferrik sülfattı. Demir geri kazanımını gerçekleştirmek için seçilen konsantrasyonda sülfürik asit ve sodyum hidroksit çözeltileri, pıhtılaştırılmış çamurlara ilave edilmiş ve karıştırılmıştır. Çamurlar daha sonra 100 mL'lik silindirlere yerleştirilmiş ve 30 dakika sonra süpernatantların demir içerikleri belirlenmiştir. Sonuçlar, NaOH ile demir geri kazanımının zayıf olduğunu (% 20'den az) göstermiş, ancak demir geri kazanımı, pH düşürülür düşmez gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bununla birlikte, çok düşük pH değerlerinde bir geri kazanım işleminin yürütülmesi tavsiye edilmez çünkü diğer maddeler yeniden çözülebilir. Bu çalışmada seçilen pH 3'tür. Bu pH'ta, geri kazanılan demirin konsantrasyonu 185 mg/L'dir ve bu, %20.7 demir geri kazanımına karşılık gelmiştir. Çamur asidifikasyonu ile dikkate alınan bir diğer olay, çamur hacminin azaltılmasıdır. Asit ilavesinden sonra kalan son çökelmiş çamurun hacmi, hacimde en büyük azalmanın pH çok düştüğünde meydana geldiğini göstermiştir. pH 3'te, orijinal çamur hacminde sadece %17 azalma olmuştur, ancak daha önce de belirtildiği gibi, daha düşük pH'ta çalışmak her zaman yeniden oluşturulabilir değildir. Ayrıca çok daha fazla aside ihtiyaç duyulacağı düşünülmüştür. Geri kazanılan ferrik sülfat, tekstil atıksuyu (pamuk ve sentetik elyaflar) üzerinde bir pıhtılaştırıcı olarak kullanılmış ve ticari ferrik sülfata eşdeğer veya daha iyi sonuçlar göstermiştir. Atıksu pıhtılaşması için optimum pH ve kimyasal dozaj, deneme yanılma yoluyla (jar testleri) belirlenmiştir ve bunlar için dikkate alınan parametreler, toplam organik malzemeler (KOİ) ve toplam

askıda katı maddelerdir (TKM). Elde edilen sonuçlar şu şekildedir: Geri kazanılan demir tuzu kullanılarak iki farklı tür tekstil atıksuyunun toplam KOİ değerinde yaklaşık yüzde 40 ila 85 azalma göz önünde bulundurulmuş ve toplam askıda katı madde gideriminin yüzde 60 ila 82 olduğu bildirilmiştir. Bu işlem için gerekli geri kazanılan kimyasal dozajları, optimum pH 7'de demir olarak yaklaşık 5 ila 15 mg/L olarak belirlenmiştir. Taze ferrik bileşiklerin daha pahalı olduğunu düşünülürse, geri kazanılmalarının ekonomik bir değerini kazanmaları beklenir. Bu nedenle asidik pH'ların çamur arıtması, aynı anda demir geri kazanımı ve orijinal çamur hacminde azalma sağlayabileceği, asidik demir geri kazanım yöntemi teknik olarak uygulanabilir olduğu, bu işlem için her güçlü asit kullanılabileceği, ancak ekonomik nedenlerle sülfürik asidin üstün olduğu belirtilmiştir.

Yapılan bir diğer çalışmada (Basibuyuk ve Kalat, 2004) Adana, Türkiye'deki içme suyu arıtma tesisinde oluşan çamurun, bitkisel yağ rafineri endüstrisi atıksularının koagülasyon-flokülasyon ile arıtımında kullanılma potansiyeli araştırılmıştır. Su arıtma çamuru ile maksimum %74 KOİ, %99 yağ ve gres ve %84 AKM giderimi elde edilmiştir. Bu uzaklaştırma oranları, bitkisel yağ endüstrisi atıksularının arıtılması için yaygın olarak kullanılan pıhtılaştırıcılar olan demir klorür ve alum ile elde edilenlerle karşılaştırılabilir bulunmuştur. Sonuç olarak, su tesisi çamurunun bu performansı, kimyasal arıtma sırasında bitkisel yağ arıtma endüstrisi atıksularının arıtılması için demir klorür bazlı su tesisi çamurunun kullanılmasının önemli tasarruflar sağlayabileceğini göstermiştir.

2.2. Koagülasyon-Flokülasyon Prosesi

Koagülasyon-flokülasyon prosesi, çözünmeyen parçacıkların ve çözünmüş organik maddelerin sonraki çöktürme ve filtrasyon aşamalarında uzaklaştırılabilen daha büyük agregalar halinde birleştirilmesini içerir. Koagülan maddeler, mikroflokler oluşturarak atıksudaki asılı ve koloidal parçacıkların dengesini bozar. Bunlar, parçacıkların topaklanmasını teşvik eden ve sonraki arıtma aşamalarında bunların uzaklaştırılmasına olanak sağlayan bir karıştırma/çalkalama prosedüründen oluşan flokülasyon ile toplanır. Partiküllerin ve kolloidlerin toplandığı ve dolayısıyla uzaklaştırıldığı mekanizmalar, yük nötralizasyonu, adsorpsiyon, tuzak ve kompleksleşme süreçlerinin bir kombinasyonunu içerebilmektedir (Hargreaves ve ark., 2018).

Koagülasyon, endüstriyel atıksuyun elektrik yüklerini nötralize etmek veya azaltmak ve böylece aglomerasyonları için koloidal partiküller arasında uzlaşmayı teşvik etmek için uygulanmaktadır. Bu aşama, daha büyük agregaları bir araya getirmek için sulu çözeltilere kimyasal reaktiflerin eklenmesinden kaynaklanır. En yaygın kullanılan koagülan maddeler kireç (Ca(OH)_2), alüminyum tuzları ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve AlCl_3) ve demir tuzlarıdır (FeCl_3 and $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$). Flokülasyon, pıhtılaşmayı doğrudan takip eden süreçtir ve dengesizleştirilmiş aglomeralar oluşturmak için kolloidal partiküller arasındaki teması teşvik eder. (Berradi ve ark., 2014).

PACl , AlCl_3 'ün farklı baziklik oranlarına kısmen nötralize edilmesiyle üretilmektedir ve geleneksel pıhtılaştırıcılara göre daha az sıcaklık ve pH bağımlılığı ve ayrıca daha küçük alkalilik tüketimi gibi avantajlara sahip olduğu rapor edilmiştir, ancak arıtılacak suyun özellikleri (örn. alkalinite, pH ve NOM içeriği) uygun pıhtılaştırıcı seçiminde önemli bir rol oynamaktadır (Matilainen ve ark., 2010). Polialüminyum klorürün polimerik özellikler göstermesi nedeniyle performansı diğer koagülan maddelere göre daha yüksek olmaktadır (Karcıoğlu, 2009).

Koagülasyon-flokülasyon prosesinin verimini koagülan madde türü, pH, koagülan madde dozu ve kirleticilerin konsantrasyonları gibi faktörler etkilemektedir (Pang ve ark., 2011).

Koagülasyon-flokülasyon prosesi sulardan (Şen, 2004; Kucukcongar ve Sevimli, 2013), evsel ve endüstriyel atıksulardan ağır metaller (Amuda ve ark., 2006; Pang ve ark., 2009; Pang ve ark., 2011; Berradi ve ark., 2014; Hargreaves ve ark., 2018; Xu ve ark., 2019) ve organik maddeler (Delipınar, 2007; Şanlı, 2007; Aliplik Akın, 2010) gibi farklı kirleticilerin gideriminde kullanılmaktadır.

Yapılan bir çalışmada (Camcı, 2008) metal kaplama atıksularının arıtımında elektrokimyasal bir teknik olan elektrokoagülasyon ve kimyasal koagülasyon yöntemleriyle metal kaplama atıksuyunun arıtılması ve her iki arıtım yönteminin ağır metal giderim verimi giderimlerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kimyasal koagülasyon deneylerinde $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ve FeCl_3 koagülan maddeleri için 500, 1000 ve 2000 mg/L dozları sırasıyla Cu, Cr ve Ni için % 99.9 oranında giderimi sağlanmıştır. Metal kaplama atıksularından elektrokimyasal olarak Cu %99.9, Cr %99.9 ve Ni %98 oranında 10 mA cm^{-2} 'lik bir akım yoğunluğunda ve 20 dakikalık elektrokoagülasyon süresinde giderim gerçekleşmiştir.

Bir diğer çalışmada (Os ve ark. 2006), içecek endüstrisi atıksularından kurşun, kadmiyum, toplam demir, toplam krom, nikel ve çinko gibi ağır metalleri gidermek için

arıtma sırasında pıhtılaşma işlemine polimer ilavesinin etkinliği incelenmiştir. Deneyler, hem demir klorür hem de organik polimerin (iyonik olmayan bir poliakrilamid) ayrı ayrı ve demir klorür-polimer kombinasyonunun performansını belirlemek için standart jar test prosedürü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Demir klorür için kullanılan dozajlar 0 ile 500 mg/L arasında değişirken, polimer dozajları 0 ile 100 mg/L arasında değişmektedir. Atıksudaki toplam krom için optimum uzaklaştırma verimliliği, demir klorür için 300 mg/L ve polimer için 65 mg/L' de elde edilmiştir. Çinko ve toplam demir için ise, demir klorür için 500 mg/L'de ve polimer için 65 mg/L'de optimal uzaklaştırma verimleri elde edilmiştir. Demir klorür ilavesi, toplam krom, çinko ve toplam demirin sırasıyla %91'ine, %72'sine ve %54'üne ulaşan metallerin önemli ölçüde uzaklaştırılmasını sağlarken, polimer ilavesi toplam krom, çinko ve toplam demirin sırasıyla %95, %87 ve %88'inin giderimini sağlamıştır. Demir klorür, polimerden daha hacimli ve daha sıkıştırılmış çamur üretmiştir. Farklı oranlarda demir klorür ve polimer kombinasyonları, toplam krom için %84-97, çinko için %69-90 ve toplam demir için %69-92 aralığında metallerin daha iyi giderim verimlerini sağlamış, ayrıca daha az çamur üretilmiştir. Toplam kromu uzaklaştırmak için optimum demir klorür dozu 300 mg/L iken toplam demir ve çinkoyu uzaklaştırmak için optimum demir klorür dozu 500 mg/L olarak bulunmuştur.

Başka bir çalışmada (Hargreaves ve ark.,2018) evsel atıksudan eser metallerin (Cu, Pb, Ni, Zn) uzaklaştırılması için metal tuzları, sentetik polimerler ve biyopolimerler ile pıhtılaşma-flokülasyon prosesinin etkinliği incelenmiştir. İngiltere'de faaliyet gösteren bir damlatmalı filtre arıtma tesisinden alınan atıksu örneklerinde koagülan dozajının etkisi ve yavaş karıştırma aşamasının hızı ve süresi jar testi deneyleri ile incelenmiştir. Kitosan ve sentetik polimer, eser metallerin giderilmesinde orta derecede bir etkiye sahip bulunmuştur ($\leq$ %35). Genel olarak, FeCl_3 ve flocculan'ın atıksudan eser metallerin giderilmesinde en etkili materyal olduğu belirlenmiştir. Dozaj için önerilen koşullar (FeCl_3 : 0.10 mg/L, flocculan: 0.25 mg/L) kullanıldığında, her iki pıhtılaştırıcı Pb ve Zn' nin uzaklaştırılmasında eşit derecede etkili olmuştur.

Başka bir çalışmada (Pang ve ark. 2009) kurşun, çinko, bakır ve demir içeren atıksuların arıtılması için hidroksit çökeltme ve pıhtılaşma-çökeltme yöntemleri kullanılmıştır. Sentetik atıksudaki ağır metallerin konsantrasyonları kurşun için 1 ila 14 mg/L, çinko için 5 ila 90 mg/L, bakır için 3 ila 90 mg/L ve demir için 5 ila 45 mg/L aralığındadır. Hidroksit çökeltme sonucu nihai çözünmüş konsantrasyonlar, düzenlemelerin gerektirdiği deşarj sınırını karşılamadığı için koagülasyon-flokülasyon

prosesi ile daha fazla arıtma yapılmıştır. Alüminyum sülfat, polialüminyum klorür (PACl) ve magnezyum klorür ($MgCl_2$) koagülant olarak, Koaret PA 3230 pıhtılaşma yardımcısı olarak kullanılmıştır. Jar test sonuçlarına göre, 1200 mg/L alum, 150 mg/L PACl ve 2000 mg/L $MgCl_2$ sırasıyla 6.5-7.8, 8.1-8.9 ve 9.7-10.9 pH aralıklarında Pb(II)'nin %99'a kadar uzaklaştırıldığı belirlenmiştir.

Başka bir çalışmada (Xu ve ark. 2019), Zn(II) ve Cr(VI) içeren atıksuların arıtılmasında koagülan olarak polimerik demir sülfat (PFS) kullanılmış ve yüksek giderim verimini sağlamak için pıhtılaşma parametreleri optimize edilmiştir. Sonuçlar, Zn(II)'nin optimum uzaklaştırma veriminin 100 mg/L'lik bir PFS dozajında, pH 7-8'de ve 30 dakikalık çökelme süresinde elde edildiğini göstermektedir. Bu arada, Cr(VI)'nin uzaklaştırma verimliliği, FAS dozajı, 20 mg/L'lik PFS dozajı, pH 7-8 ve yaklaşık 30 dakikalık yerleşme süresi ile FAS dozajı teorik gereksinimin 1.2 katı olduğunda en yüksek değere ulaşmıştır. Sonuç olarak, gerçek pıhtılaşma sürecinde çeşitli faktörlerin kapsamlı bir şekilde optimize edilmesi gerekir.

Başka bir çalışmada (Berradi ve ark., 2014) çeliğin sıcak daldırma galvanizlenmesinden kaynaklanan endüstriyel atıksuyun arıtılması için koagülasyon-flokülasyon prosesinin optimizasyonu yapılmıştır. Optimizasyon prosesi koagülasyon-flokülasyon, optimize edilmiş parametrelerin (arıtma koşulları, ham su numunesi, kullanılan pıhtılaştırıcı ve yumaklaştırıcı dozları) bu prosesin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bulanıklık için %98.24, KOİ için %97.75, toplam askıda katı madde (TSS) için %97.02, çinko için %97.04 ve demir için %94.4 giderim elde edilmiştir.

Başka bir çalışmada (Pang ve ark. 2011) ağır metallerin (Pb, Zn ve Fe) uzaklaştırılması için koagülasyon yönteminin etkinliğini belirlemek amacıyla polielektrolit olarak Koaret PA 3230 ile pıhtılaştırıcı olarak alüminyum sülfat (alum), polialüminyum klorür (PACl) ve magnezyum klorür ($MgCl_2$) kullanılmıştır. Pb(II)'nin maksimum uzaklaştırılması, farklı ayırt edici pH aralıklarında gözlemlendi: çözelti tiplerinden bağımsız olarak, alum için 6.2–7.8, PACl için 8.0-9.3 ve $MgCl_2$ için 8.7–10.9 değerleri bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan pıhtılaştırıcılar arasında en etkili olanı PACl'dir. Pb(II) ve Zn(II) içeren karışık çözeltilerde %99'dan fazla giderim elde etmek için gereken pıhtılaştırıcı dozajı, Zn(II)'nin başlangıç konsantrasyonları ile artarken, 25-45 mg/L Fe(III), Pb(II) ve Fe(III) içeren karışık çözeltilerde, Pb(II)'nin %99'dan fazla uzaklaştırılması için kullanılan pıhtılaştırıcı dozajını azaltmıştır. Karışık çözeltilerdeki Zn(II) ve Fe(III) konsantrasyonları her zaman standart deşarj limitlerinin

altında elde edilmiştir. Pıhtılaştırıcı yardımcısının eklenmesiyle yumak çökelme süresi azalmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İçme Suyu Arıtma Tesisi Çamuru

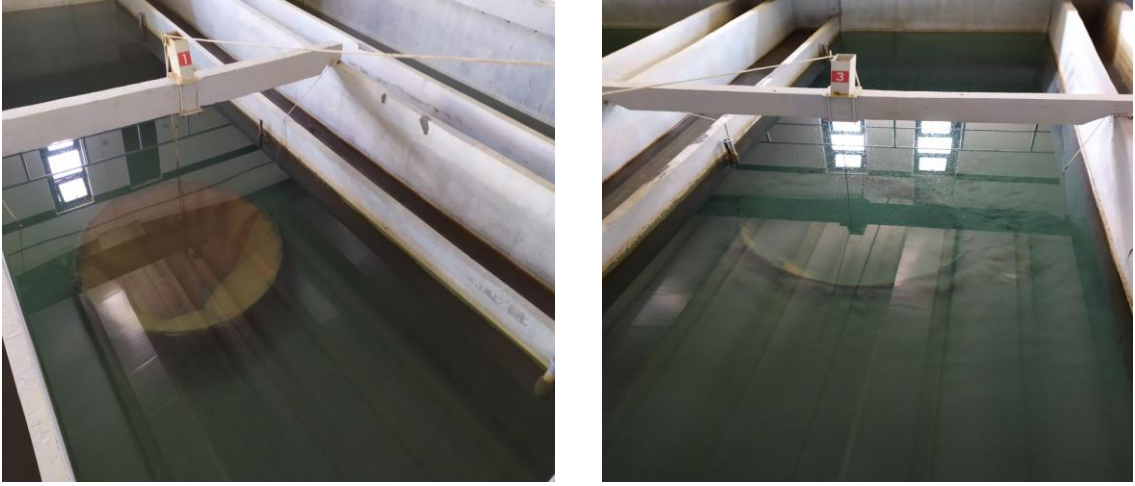
Bu tez çalışmasında çamur örneği Konya içme suyu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Konya içme suyu arıtma tesisi, Konya- Antalya karayolunun Konya Akyokuş kıvrımı içinde yer alan yaklaşık 200.000 m²'lik alanda kurulmuştur. 1000 mm'lik çap ile tesise gelen su bir debimetre ile ölçüldükten sonra çap 400 mm ve 800 mm'lik bransmanlarla ikiye ayrılmaktadır. Tesisin su arıtma kapasitesi 1.2 m³/s (104,000 m³/gün)'dir. Kurak periyotlarda göl hacminin 7,000,000 m³'ün altına düşmesi halinde arıtılacak su miktarı 0.33 m³/s'ye (28,500 m³/gün) düşürülecektir.

Tesis pıhtılaştırma-yumaklaştırma, durultma, hızlı kum filtrasyonu ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşmaktadır. Tesiste durultmayı, yumaklaşmış partiküllerin durultma havuzları içindeki çamur konileri vasıtasıyla sudan ayrılması işlemi gerçekleştirmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Durultucu havuzları çökeltme konileri.

Durultucu havuzlarında aşağıdan yukarıya doğru sağlanan su akımı sayesinde havuzların tabanı yerine belli bir seviyesinde, dengede duran yumaklaşmış partiküllerden oluşan çamur tabakası (çamur blanketi) meydana gelmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Durultucu havuzlarındaki çamur blanket tabakası.

Oluşan bu çamur tabakası zamanla çoğalmakta ve aşağıdan yukarıya doğru su akımı bulunmayan çamur konilerinin kenarından konilerin içine akmaktadır. Konilerin içinde belli bir miktara ulaşan çamur ise otomatik bir kontrol sistemi aracılığıyla açılan çamur vanalarından deşarj edilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Durultucu havuzları çamur tahliye vanaları.

Sonrasında çamur toplayıcı borular vasıtasıyla çamur rogarına alınmaktadır (URL-1). (Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Çamur tahliye rogarı.

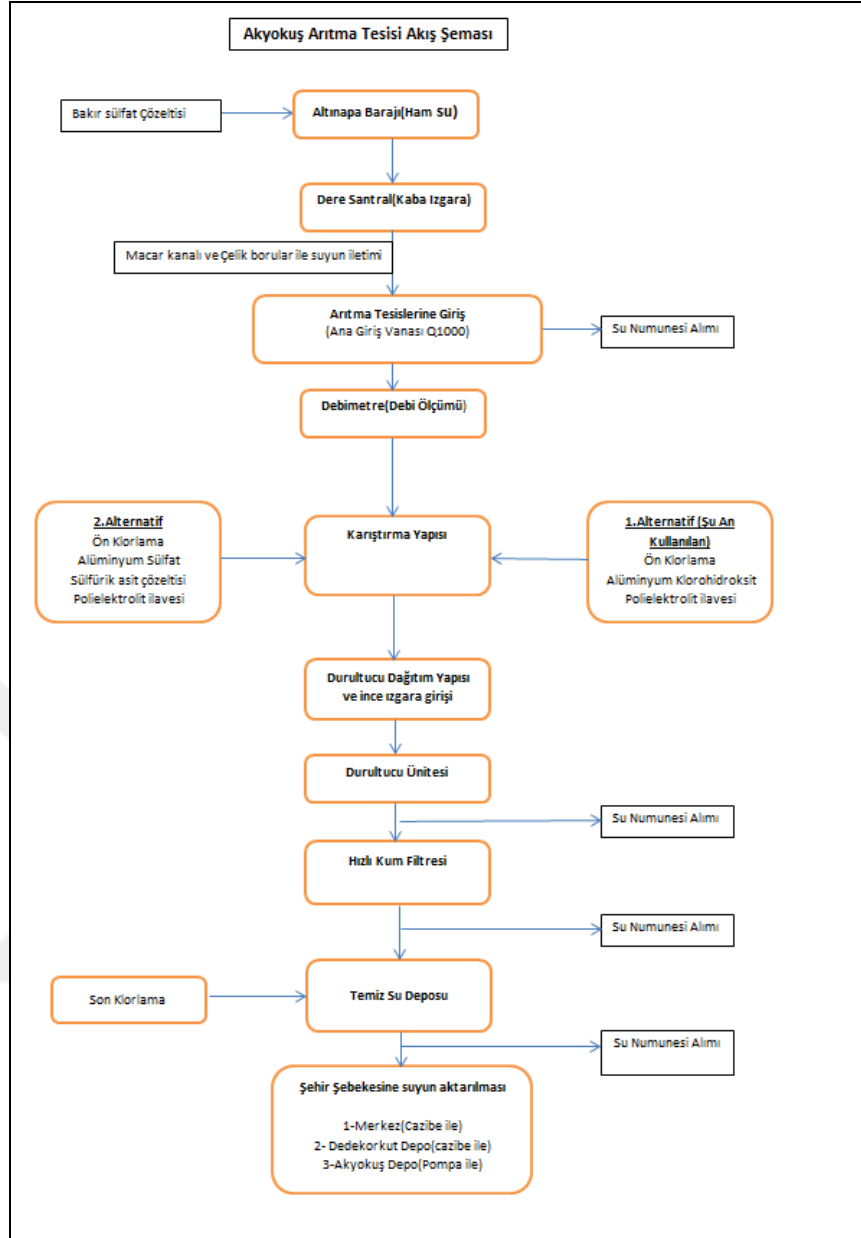
Durulmuş suyun içinde kalmış olan partiküllerin ayrılması için filtrasyon ünitesi kullanılmaktadır. Filtreler 7 ünite olarak düzenlenmiştir. Her bir ünite, bir merkez kanalının iki tarafında yer alan 3 metre genişliğinde ve 17 metre uzunluğunda olan ve paralel çalışan iki yataktan oluşmaktadır (Şekil 3.5). Her filtre çalışmasını gösteren ve o filtre ilgili tüm ayrıntıların bulunduğu bir kontrol konsoluna sahiptir (URL-2).



Şekil 3.5. Hızlı kum filtrasyonu üniteleri.

Temiz su deposu iki adet 8500 m³ olarak düzenlenmiş olan depodan oluşmakta ve deponun gözlerinin her birinde 7 adet şaşırtma perdesi bulunmaktadır. Böylelikle hem yapı üstü yükler perdelere dağıtılmış, hem de suyun depo içerisinde gezdirilmesiyle sağlanan aktivite ile suyun bayatlaması engellenmiş, gerekli olan klorla temas süresi sağlanarak temas tankı ihtiyacı ortadan kaldırılmıştır (URL-2).

Ham su karakteristikleri ve alınan numune sonuçlarına bağlı olarak yapılan jar testleri ile arıtma işleminde kullanılacak kimyasallar ve optimum dozlama miktarları belirlenmektedir. Konya Su Arıtma Tesislerinde ham suya pıhtılaştırıcı olarak farklı zamanlarda alüminyum sülfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) ve polialüminyum klorür, pH düzenlemesi için sülfürik asit, oksidasyon amacı ile klor ve pıhtılaştırıcı yardımcısı olarak da anyonik polielektrolit kullanımına göre tasarlanmıştır. Alum-sülfürik asit ve klor hızlı karıştırıcıdan önce dozlanmakta ve karıştırıcı içinde ham suya karışmaları sağlanmaktadır. Pıhtılaştırıcının ham su ile karışımı sırasında oluşan yumakların bir araya gelmelerinin hızlandırılması maksadıyla kullanılan polielektrolit karıştırıcının son savağında dozlanmaktadır (URL-2). Ancak sonraki yıllarda koagülan madde olarak alüminyum sülfat yerine alüminyum klorür hidroksit (ACH) kullanılmaya başlanmıştır. Arıtma tesisine ait akım şeması Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Akyokuş içme suyu arıtma tesisi iş akım şeması.

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan çamur örneği durultucu konisinden boşaltılan ham çamur numunesi alınmıştır. Durultucu ünitesi konisinde biriken çamurdan 30 L hacminde alınmış ve uygun şartlarda laboratuvar ortamına getirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Durultucu havuzundan alınan çamur örnekleri.

Çamurun genel karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle çökelmeye bırakılmış ve hacimce yaklaşık %50 çökeltme sağlanmıştır (Şekil 3.8). 30 litre çamurdan yaklaşık 14 litre çamur elde edilmiştir.



Şekil 3.8. Çamurun çökeltilmesi ve üst suyunun tahliyesi.

Üst suyun kontrol amaçlı spektrofotometrik yöntemle alüminyum analizi yapılmış ve oldukça düşük alüminyum miktarı (0.11 mg/L) tayin edildiği için üst suyu boşaltılarak kalan çamur sonraki işlemlerde kullanılmıştır. Çökeltilmiş çamurun katı madde içeriğinin belirlenmesinde TS 9546 metodu ve ağır metal analizlerinde EPA 3051 A metodu kullanılmıştır.

Çökeltilmiş çamurdan koagülan madde üretimi için, çamur etüvde 103⁰C'de kurutulmuş (Şekil 3.9) ve kurutulmuş çamur Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan Retsch SR 200 model öğütücü kullanılarak parçalanmıştır (Şekil 3.10). Cihaz çıkışından alınan öğütülmüş çamur örneği tekrardan 200 µm gözenek çapındaki elekten geçirilmiş ve partikül boyutu +200 µm olarak belirlenmiştir.

Kurutulmuş çamurun yüzey özelliklerinin görüntülenmesi için SEM analizleri ile karakterize edilmiştir. Analizler Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Zeiss Evo LS10 taramalı elektron mikroskobu cihazı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.9. Çamurun etüvde kurutulması.



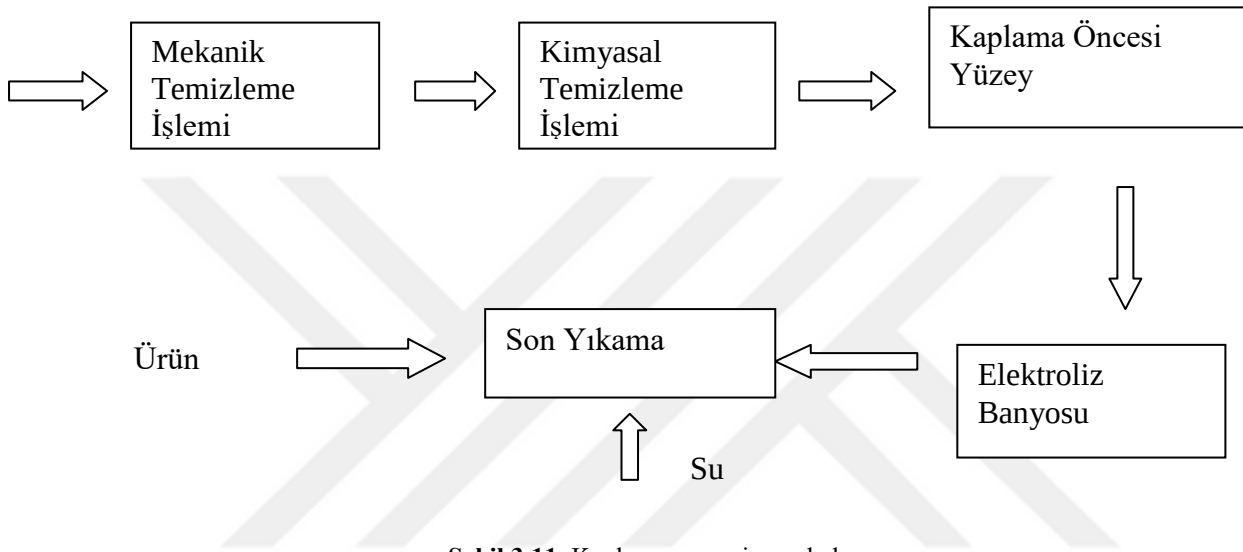
Şekil 3.10. Çamurun parçalanmasında kullanılan öğütücü.

3.2. Metal Kaplama Atıksuyu

Ülkemizde özellikle endüstrinin gelişmesi, artan nüfusa bağlı olarak endüstri sektörünün kullanımı sonucu ortaya çıkan atıksuyun arıtımı her geçen biraz daha önem kazanmaktadır. Endüstriyel atıksular toprak, su için çevre kirliliği oluşturmakla birlikte dolaylı yollardan insan sağlığı için tehdit unsuru oluşturmaktadır. Düşük konsantrasyon

içeriğine sahip olsalar bile sürekliliğiyle sağlık problemlerine yol açabilmekte ve kanserojen etki göstermektedir.

Metal işleme endüstrisinde, temizleme, kaplama, parlatma, boyama prosesleri kullanılarak malzemelerin dış yüzeyleri işlenerek kullanıma elverişli hale getirilmektedir. Metal kaplama işlemi endüstrisinde bakır, demir, nikel, çinko gibi metallerin yanı sıra asit ve baz gibi hammaddeler de kullanılmaktadır. Kaplama endüstrisine ait bir akım şeması Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11. Kaplama prosesi genel akım şeması

Hammadde olarak tesise getirilecek demir malzemeler; ilk etapta, malzemenin pürüzsüzlüğünün sağlanması amacıyla içerisinde demir tozu ihtiva eden çapak alma fırınında işleme tabi tutulmakta ve kabuk alma amacıyla, komple ön asit havuzuna daldırılmaktadır. Ön asitleme sürecinde kimyasal olarak hidroklorik asit (HCl) kullanılmaktadır. Ön asitlemede bekletilen hammadde ardından, durulama tankına alınmaktadır. Durulama işleminin ardından, süreci çinko kaplaması takip etmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Metal kaplama tesisi görüntüleri.

Çinko kaplaması yüksek korozyon direnci sağlaması istenilen metal parçalar için uygulanan bir yöntemdir. Çinko kaplama otomotiv sektöründe ve çeşitli elektronik üretim alet endüstrilerinde yaygın olarak kullanılır. Kötü dış ortam şartlarında kullanılan ekipmanlar için toz boya ve elektro-kaplama öncesinde kullanılan en uygun kaplama şeklidir.

Çinko kaplamanın ilk basamağı, aktivasyon basamağıdır. Bu basamak Çinko kaplama için çok önemlidir. Uygulanmaması halinde kalın kristalli kaplama oluşur. Bu türdeki kalın kristalli yüzey, sonraki kaplama işlemi için istenmeyen bir durumdur. Aktivasyon havuzuna alınacak yarı mamulün bir sonraki işlem göreceği havuz Çinko kimyasalının bulunduğu havuzdur. Çinko havuzundan çıkan ürünler, durulama

havuzuna alınmaktadır (Şekil 3.13). Durulama havuzu içerisinde %100 oranında şebeke hattından alınan su bulunmaktadır.



Şekil 3.13. Durulama havuzu.

Durulama işleminden geçen yarı mamullerin bir sonraki işlem göreceği havuz nötralizasyon havuzudur. Nötralizasyon havuzundan alınan ürünler santrifüjlerde kurutma işlemine tabi tutularak son ürün olarak hazır hale getirilmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Metal kaplama yapılan son ürünler.

3.3. Sentetik Gri Su

Gerçek gri su numunesinin temini deneysel çalışma alanında mümkün olmadığı için, Jefferson ve ark. tarafından 2001 yılında yapılan çalışmada belirtilen içerik

doğrultusunda (Çizelge 3.1) laboratuvarında sentetik gri su hazırlanmış ve koagülasyon-flokülasyon deneylerinde kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Gri su hazırlama prosedürü (Jefferson ve ark., 2001)

Malzeme	Miktar
Musluk suyu	9.68 L
Sıvı yağ	0.1 mL
Atıksu arıtma tesisi çıkış suyu	24 mL
Sentetik sabun	6.4 g
Şampuan	8 mL

3.4. Hümik asit çözeltisi

Koagülasyon-flokülasyon prosesi ile sulardan doğal organik maddelerin gideriminin incelenmesi amacıyla, örnek organik madde olarak önemli bir doğal organik madde fraksiyonu olan hümik asit seçilmiştir. Hümik asit çözeltisinin hazırlanması için ticari olarak Merck firmasından temin edilen hümik asit tuzu 0.1 N NaOH çözeltisi içerisinde yaklaşık 12 saat karıştırılmıştır. 0.45 µm gözenek çaplı selüloz nitrat membran filtreden geçirildikten sonra saf suyla 1 L'ye tamamlanarak, 1000 mg/L konsantrasyonunda stok hümik asit çözeltisi elde edilmiştir. Deneysel çalışmalarda istenilen başlangıç konsantrasyonları stok çözeltinin saf su ile arıtılması suretiyle elde edilmiştir.

3.4. Koagülasyon-Flokülasyon Deneyleri

Kimyasal koagülasyon-flokülasyon deneylerinde, içme suyu arıtma tesisi çamuru ve alüminyum klorür hidroksit koagülan madde olarak kullanılmıştır. Dozların belirlenmesinde kıyaslama yapabilmek için her iki koagülan maddenin de alüminyum içeriklerinin eşit olması sağlanmıştır. Farklı içeriklere sahip olan metal kaplama atıksuyu, sentetik gri su ve hümik asit çözeltisi olmak üzere üç örnek su belirlenmiştir. Her üç su örneği için de literatür taramaları yapılarak en uygun karıştırma koşulları, doz değerleri, pH aralıkları ve bekleme süreleri belirlenmiştir. Öncelikle en uygun pH değerleri belirlenmiş ve sonrasında farklı koagülan dozları ile arıtım verimleri takip edilmiştir. Koagülasyon-flokülasyon deneylerine ait şartlar Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. Koagülasyon-flokülasyon deneysel şartların özeti

Deney Set No								
Metal kaplama atıksuyu								
Takip edilen parametreler		AKM, çinko						
Deneysel şartlar		2 dk 200 rpm, 20 dk 60 rpm, 90 dk çökeltme						
1	pH	5	6.23	7	8			
	Çamur dozu (g/L)	0.8	0.8	0.8	0.8			
2	pH	5	6.23	7	8			
	ACH dozu (g/L)	0.87	0.87	0.87	0.87			
3	pH	8	8	8	8	8	8	8
	Çamur dozu (g/L)	0.16	0.4	0.80	1.20	1.60	2.40	3.20
4	pH	8	8	8	8	8	8	8
	ACH dozu (g/L)	0.17	0.44	0.87	1.30	1.70	2.60	3.48
Sentetik gri su								
Takip edilen parametreler		KOİ						
Deneysel şartlar		2 dk 200 rpm, 20 dk 60 rpm, 60 dk çökeltme						
5	pH	5	6	7.87	9			
	Çamur dozu (g/L)	0.16	0.16	0.16	0.16			
6	pH	5	6	7.87	9			
	ACH dozu (g/L)	0.17	0.17	0.17	0.17			
7	pH	7.87	7.87	7.87	7.87	7.87		
	Çamur dozu (g/L)	0.16	0.4	0.80	1.20	1.60		
8	pH	9	9	9	9	9		
	ACH dozu (g/L)	0.17	0.44	0.87	1.30	1.70		
Hümkik asit çözeltisi								
Takip edilen parametreler		Renk (456 nm), UV ₂₇₂ absorbans						
Deneysel şartlar		2 dk 120 rpm, 20 dk 30 rpm, 60 dk çökeltme						
9	pH	5	6	7	7.65	8		
	Çamur dozu (g/L)	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048		
10	pH	5	6	7	7.65	8		
	ACH dozu (g/L)	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052		
11	pH	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65		
	Çamur dozu (g/L)	0.048	0.064	0.08	0.096	0.112		

Çizelge 3.2’de belirtilen şartlar doğrultusunda jar test deneyleri Velp FC6S cihazı kullanılarak tamamlanmış ve her bir su örneği için takip edilen parametrelerin analizleri yapılmıştır. pH ayarlamalarında 0.1 M HCl ve 0.1 M NaOH çözeltileri kullanılmıştır. HCl ve NaOH kimyasalları Merck firmasından temin edilmiştir.

Koagülasyon-flokülasyon deneylerinde kullanılan koagülan maddeler, alüminyum klorür hidroksit ACH firmasından temin edilmiştir. KOİ analizlerinde kullanılan potasyum dikromat, ferroin indikatörü Merck firmasından, sülfürik asit, civa sülfat ve gümüş sülfat Carlo Erba firmasından, demir amonyum sülfat AFG Bioscience firmasından temin edilmiştir.

Saf su temininde mpMiniPure Dest saf su cihazı, pH ve iletkenlik ölçümlerinde HACH Lange HQ40d cihazı, kurutma işlemlerinde Binder marka etüv kullanılmıştır. KOİ analizleri Standart metot 5220 C kapalı reflux, titrimetrik metoduna göre yapılmıştır. KOİ analizlerinde Velp Scientifica Eco 8 termoreaktör kullanılmıştır. Renk analizleri Standart metot 2120 C spektrofotometrik tek dalga boyu metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Renk analizleri Hach DR-2800 marka, UV_{272} absorbans analizleri Shimadzu UV-1700 marka spektrofotometrede gerçekleştirilmiştir. ICP analizleri Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde hizmet alımı ile Perkin Elmer ICP OES Optima 2100 DV cihazında yapılmıştır. SEM analizleri Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Zeiss Evo LS10 taramalı elektron mikroskobu cihazı kullanılarak yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Çamur Analiz Sonuçları

Arıtma tesisinde durultucu ünitesinde oluşan çamura herhangi bir arıtım işlemi uygulanmamaktadır. Bu nedenle deneysel çalışmalarda kullanılacak olan çamur örneği durultucu konisinden boşaltılan ham çamur numunesi alınmıştır. Durultucu ünitesi konisinde biriken çamurdan 30 L hacminde alınmış ve uygun şartlarda laboratuvar ortamına getirilmiştir. Çamurun genel karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle çökelmeye bırakılmış ve hacimce yaklaşık %50 çökeltme sağlanmıştır. Üst suyunda kontrol amaçlı spektrofotometrik yöntemle alüminyum analizi yapılmış ve oldukça düşük alüminyum miktarı (0.11 mg/L) tayin edildiği için üst suyu boşaltılarak kalan çamur sonraki işlemlerde kullanılmıştır. Çökeltilmiş çamurun katı madde içeriğinin belirlenmesinde TS 9546 metodu ve ağır metal analizlerinde EPA 3051 A metodu kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

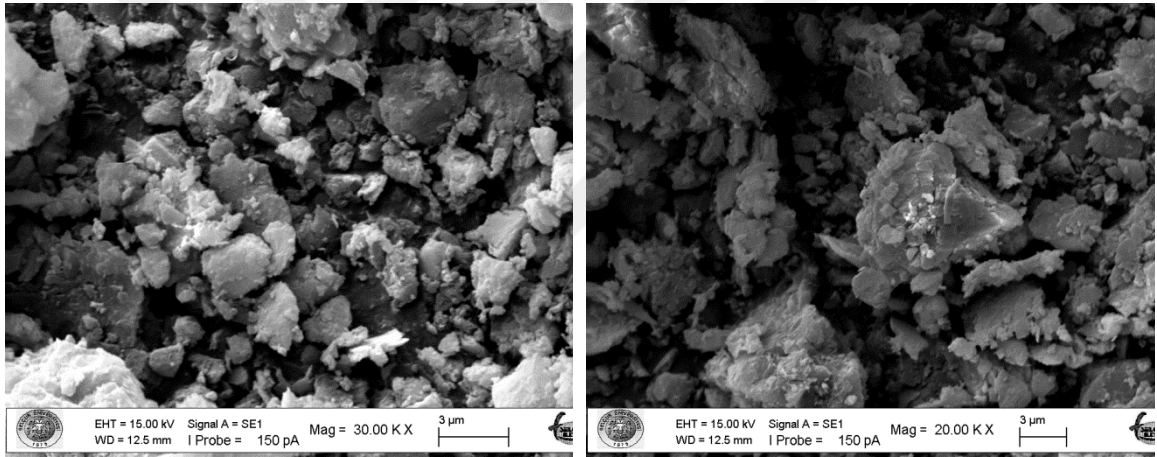
Çizelge 4.1. İçme suyu arıtma tesisi çökeltilmiş çamur analiz sonuçları

Parametre	Birim	Değer
Katı madde	%	3
Alüminyum	mg/kg	72535
Bakır	mg/kg	88.03
Çinko	mg/kg	50.42
Demir	mg/kg	7729.3
Kalsiyum	mg/kg	42589
Krom	mg/kg	26.58
Kurşun	mg/kg	2.943
Magnezyum	mg/kg	4644
Nikel	mg/kg	30.04
Sodyum	mg/kg	208.98

Çamur analizi sonuçlarında; katı madde oranı %3 olarak belirlenmiş, yüksek miktarda alüminyum (72535 mg/kg), demir (7729.3 mg/kg), kalsiyum (42589 mg/kg) ve daha düşük düzeylerde bakır, çinko, krom, kurşun, magnezyum, nikel ve sodyum parametreleri tespit edilmiştir. Arıtma tesisine gelen ham su yüzey sularından temin edilmekte ve mevsim şartlarına bağlı olarak içerik değerleri değişkenlik göstermektedir. Tesiste sertlik giderimi için bir proses uygulanmadığı için ve arıtımda bir kısım sertlik giderimi gerçekleştiği için sonuçlarda yüksek düzeylerde kalsiyum daha düşük düzeylerde Magnezyum içerdiği görülmektedir. Arıtma tesisinde alüminyum bazlı bir koagülan madde kullanılmakta ve sulardan bulanıklık giderimi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle sonuçlarda da görüldüğü üzere çamur yüksek alüminyum içeriğine sahiptir.

Demir suda ortam şartlarına (pH, sıcaklık vb.) bağlı olarak kolaylıkla okside olabilmekte ve çökelek halinde sudan uzaklaştırılabilmektedir, çamurdaki demir içeriğinin de bununla ilintili olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.1’de içme suyu arıtma tesisinde durultucu ünitesinde koagülan madde olarak alüminyum klorür hidroksit kullanımı sonucu açığa çıkan çamurun suyunun alınması ve kurutulması sonucu elde edilen katı çamura ait SEM görüntüleri verilmiştir. Çamurun amorf bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Farklı arıtma tesisi çamurları için de benzer sonuçlar elde edilmiş, çamurun yapısal olarak belirgin bir şeklinin veya formunun olmadığı gözlenmiştir (Awab ve ark., 2012; Ahmad ve ark., 2016; Ghorpade ve Ahammed, 2018). Daha az pürüzlü ve pürüzsüz yüzeyli kısımların çamurdaki kum parçacıklarından, toprak bileşenlerinden kaynaklanabileceği öngörülmüştür (Ong ve ark., 2017).



Şekil 4.1. İçme suyu arıtma tesisi çamurunun SEM görüntüleri.

4.2. Koagülasyon-Flokülasyon Deney Sonuçları

4.2.1. Metal kaplama atıksuyu

Adsorpsiyon, elektrokimyasal prosesler (Adhoum ve ark., 2004), kimyasal çöktürme ve biyolojik yöntemler gibi pek çok teknik sulardan ağır metal gideriminde uygulanabilmektedir. Bu prosesler içerisinde elektrokimyasal prosesler ve kimyasal çökeltme tekniği bazı ağır metal konsantrasyonlarında düşük verimlilik ve fazla çamur üretimi gibi problemler oluşturabilmektedir. Adsorpsiyon ve biyolojik teknikler, özellikle arıtılmış atıksu miktarının fazla olduğu durumlarda yüksek maliyet gerektirmekte ve ikincil kirliliğe neden olabilmektedir. Bu yaklaşımlarla karşılaştırıldığında, koagülasyon-flokülasyon, yüksek ağır metal giderme verimliliği ve

ayarlama ve işletmede uygulanabilirliği gösteren fizikokimyasal bir yöntem olup, büyük miktarda ve karmaşık bileşime sahip atıksuların arıtılmasında yaygınlıkla kullanılabilmektedir (Xu ve ark., 2019). Bu çalışmada yüksek ağır metal içeriğine sahip olan metal kaplama atıksuyunda içme suyu arıtma tesisinden elde edilen çamur ve ticari koagülan madde olarak ACH'nin etkinliği incelenmiştir.

Çinko kaplaması malzemenin pürüzsüzlüğünün sağlanması, parlaklık verilmesi ve endüstri sektöründe kullanılmak üzere çeşitli işlemlerden geçmektedir. Kaplama yapılacak materyaller pürüzsüzlük, parlaklık ve yapılan işlemlerin korunması için pasivizasyon gibi proseslerde çeşitli kimyasallara maruz kalmaktadır. Durulama suyuna belirli konsantrasyonlarda bu kimyasallar taşınmakta ve atıksu olarak dış çevreye verilmektedir. Tesisten temin edilen atıksuya ait genel özellikler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Metal kaplama atıksuyu içeriği

Parametre	Birim	Konsantrasyon
pH		6.23
İletkenlik	mS/cm	39.7
AKM	mg/L	1398
Na	mg/L	356.8
Mg	mg/L	71.18
Al	mg/L	- ^a
Ca	mg/L	259.8
Cr	mg/L	- ^a
Ni	mg/L	- ^a
Cu	mg/L	- ^a
Zn	mg/L	3229
Cd	mg/L	- ^a
Pb	mg/L	- ^a

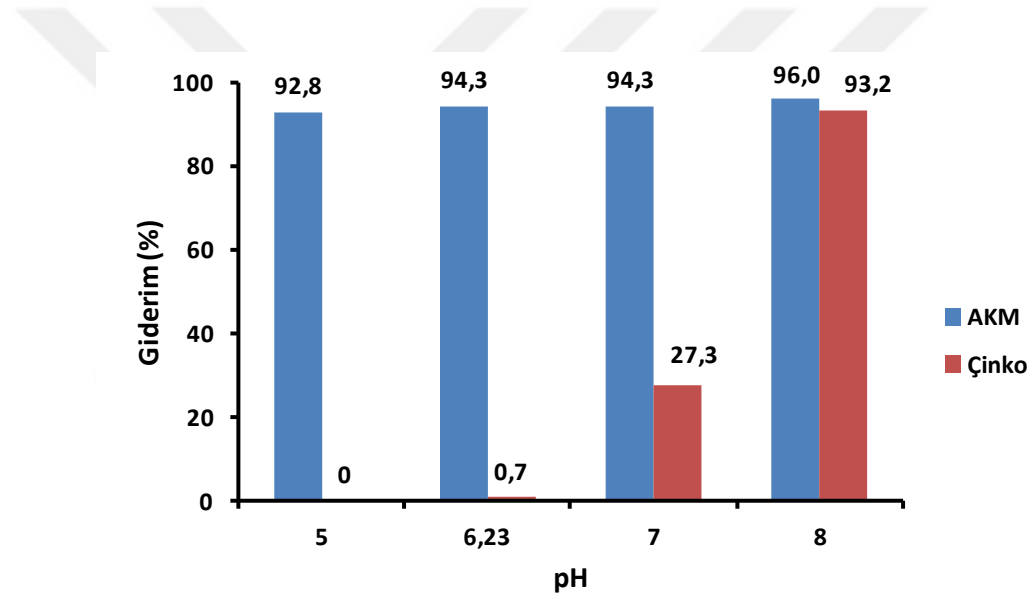
-^a: Tespit limitinin altında

Metal kaplama atıksularının koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle arıtımında, ACH ve içme suyu arıtma tesisi çamurunun farklı pH değerlerinde ve dozlarda AKM ve çinko giderimindeki etkinliği incelenmiştir. Metal kaplama atıksuyunun 6.23 olan orijinal pH değeri 5, 7 ve 8'e ayarlanmış ve 0.8 g/L dozunda İSAT çamuru ilave edilerek koagülasyon-flokülasyon ve çökelme işlemine tabi tutulmuştur. Jar test deneylerinde 200 devirde (rpm) ile 2 dakika (dk) süreyle karıştırıldıktan sonra, 60

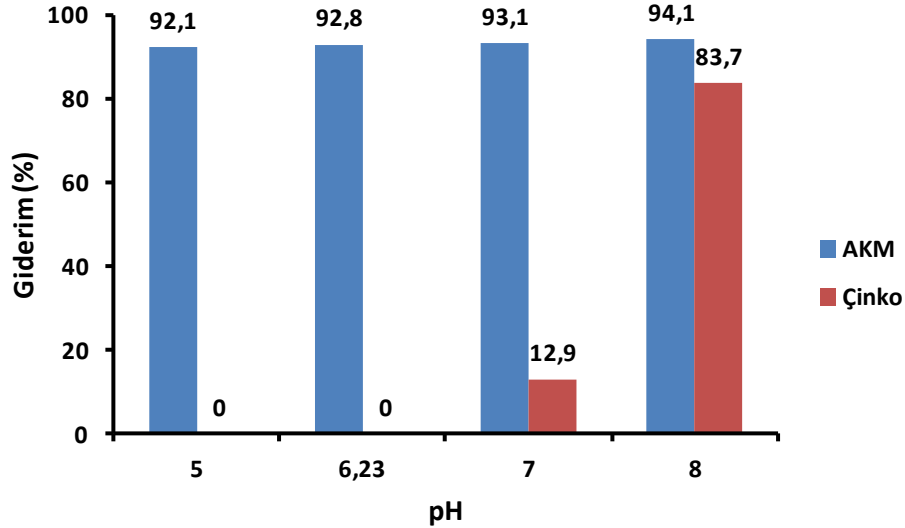
devirde (rpm) 30 dakika karıştırma uygulanmış ve bu işlemler sonrası düzenekteki karıştırıcılar çıkarılıp 60 dakika beklemeye alınmıştır.

AKM giderim verimi en yüksek başlangıç pH değerinin 8'e ayarlandığı beherde %96 olarak elde edilmiş, ancak diğer pH değerlerinde de yüksek verimler gözlenmiştir (Şekil 4.2). Çinko giderimi ise %93.2 ile en yüksek pH 8 değeri için elde edilmiştir.

Şekil 4.3'de de görüldüğü üzere metal kaplama atıksuları için farklı başlangıç pH değerlerinde 0.87 g/L ACH dozlaması yapılmış ve artan pH değeriyle hem AKM hem de çinko gideriminde artış gözlenmiştir. En yüksek AKM ve çinko giderimi başlangıç pH değerinin 8'e ayarlandığı beherde sırasıyla %94.1 ve %83.7 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Metal kaplama atıksularından farklı pH değerlerinde İSAT çamuru kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle AKM ve çinko giderimi (İSAT çamur dozu: 0.8 g/L).



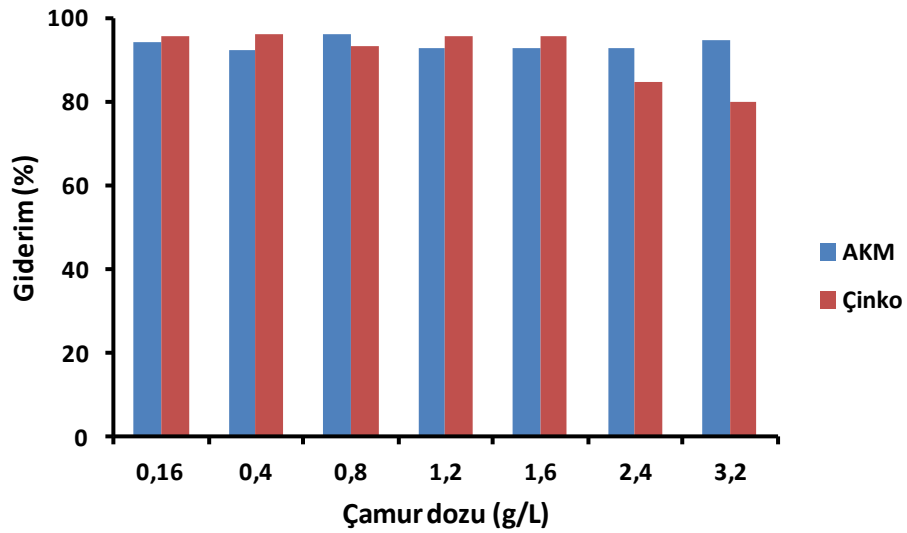
Şekil 4.3. Metal kaplama atıksularından farklı pH değerlerinde ACH kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle AKM ve çinko giderimi (ACH dozu: 0.87 g/L).

Çözeltinin pH değeri, ağır metallerin formunu ve pıhtılaştırıcıların hidroliz ürünlerini büyük ölçüde etkileyebilmektedir (Xu ve ark., 2019). Yapılan bir çalışmada (Xu ve ark., 2019), sudaki Zn(II)'nin kalıntı konsantrasyonu, pH 3'ten 7'ye yükseldikçe sürekli olarak azalmış, ancak pH değeri 8'den yüksek olduğunda, giderme hızı azalmıştır; bu nedenle çinko giderimi için optimum pH aralığı 7-8 olarak belirlenmiştir. Sulardan kurşun, demir ve çinko gideriminin incelendiği bir çalışmada (Pang ve ark., 2011) optimum pH aralığı polialüminyum klorür için 8.0-9.3, alum için 6.2-7.8 ve magnezyum klorür için 8.7-10.9 olarak belirlenmiştir. Kullanılan koagülan maddeler içerisinde en etkili PACl olarak belirlenmiştir.

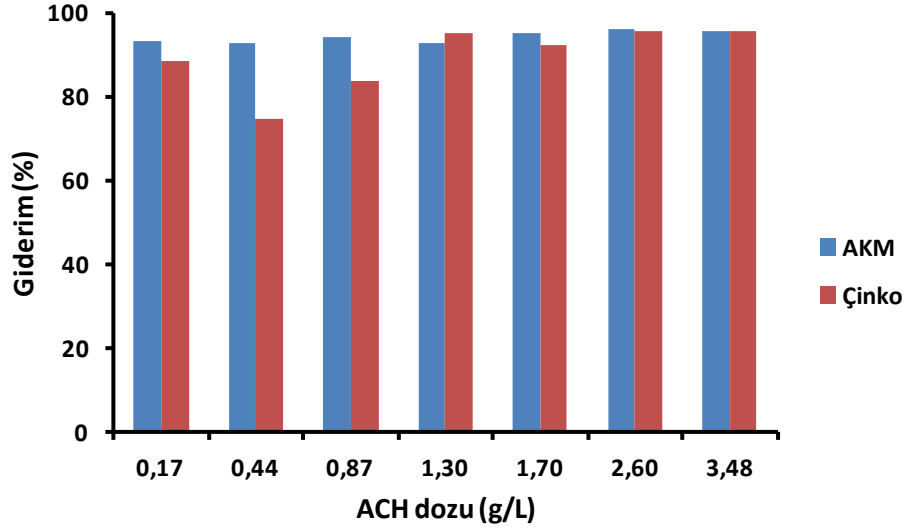
Her iki koagülan madde için de en yüksek giderim çinko giderim verimlerinin elde edildiği pH değeri 8 olduğu için, doz çalışmalarında başlangıç pH değerleri 8'e ayarlanarak deneysel çalışmalara devam edilmiştir. Şekil 4.4'de başlangıç pH değerleri 8'e ayarlanmış olan metal kaplama atıksularında farklı İSAT çamuru dozlamaları için AKM ve çinko giderim verimleri görülmektedir. En yüksek AKM giderimi 0.8 g/L dozunda %96 olarak elde edilmiş, diğer dozlarda ise %92.7-95.7 aralığında oldukça yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Çinko gideriminde ise 0.16-1.6 g/L aralığındaki tüm dozlarda %93.2-95,9 aralığında giderim verimleri elde edilirken; daha yüksek doz değerleri olan 2.4 ve 3.2 g/L dozları için sırasıyla %84.9 ve %79.7 değerlerine düşmüştür.

Şekil 4.5’de farklı ACH dozlarında metal kaplama atıksuyundan AKM ve çinko giderim verimleri gösterilmiştir. AKM giderim verimleri çalışılan dozlar için %92.6-96.1 aralığında oldukça yüksek değerlerde elde edilmiştir. Çinko giderim verimi ise 0.17, 0.44 ve 0.87 g/L dozları için sırasıyla %88.7, %74.8 ve %82.8 olarak belirlenmiş, sonrasında denenen daha yüksek dozlarda (1.30-3.48 g/L) %92.3-95.7 aralığında giderim verimleri elde edilmiştir.

Sulardan kurşun, demir ve çinko gideriminin incelendiği bir çalışmada (Pang ve ark., 2011) PACl dozajı 1200 mg/L’den 1600-2000 mg/L’ye yükseltildiğinde, kurşun iyonunun gideriminde bir miktar düşüş gözlenmiş ve bu durumun aşırı PACl varlığında kolloidal partiküllerin yeniden stabilize edilmesinden dolayı olabileceği belirtilmiştir.



Şekil 4.4. Metal kaplama atıksularından farklı dozlarda İSAT çamuru kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle AKM ve çinko giderimi (Başlangıç pH: 8).



Şekil 4.5. Metal kaplama atıksularından farklı dozlarda ACH kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle AKM ve çinko giderimi (Başlangıç pH: 8).

Metal kaplama atıksularında farklı pH ve koagülan doz denemelerinin yapıldığı bu dört set deney için (Çizelge 3.2’de verilen 1, 2, 3 ve 4 no.lu setler) çökeltme sonrası analiz edilen değerler Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Metal kaplama atıksularının koagülasyon-flokülasyon prosesi ile arıtım sonrası elde edilen sonuçlar.

Deney Set No								
1	Başlangıç pH	5	6.23	7	8			
	Çamur dozu (g/L)	0.8	0.8	0.8	0.8			
	Çökelen çamur (mL)	10	20	50	260			
	Sonuç pH	5.84	6.21	6.60	7.87			
2	Başlangıç pH	5	6.23	7	8			
	ACH dozu (g/L)	0.87	0.87	0.87	0.87			
	Çökelen çamur (mL)	10	60	90	420			
	Sonuç pH	5.24	5.93	6.27	7.34			
3	Başlangıç pH	8	8	8	8	8	8	8
	Çamur dozu (g/L)	0.16	0.4	0.80	1.20	1.60	2.40	3.20
	Çökelen çamur (mL)	450	450	260	420	400	220	250
	Sonuç pH	7.74	7.76	7.87	7.81	7.99	8.9	9
4	Başlangıç pH	8	8	8	8	8	8	8
	ACH dozu (g/L)	0.17	0.44	0.87	1.30	1.70	2.60	3.48
	Çökelen çamur (mL)	300	300	420				
	Sonuç pH	8.74	9.13	7.34	7.74	7.78	8.03	7.91

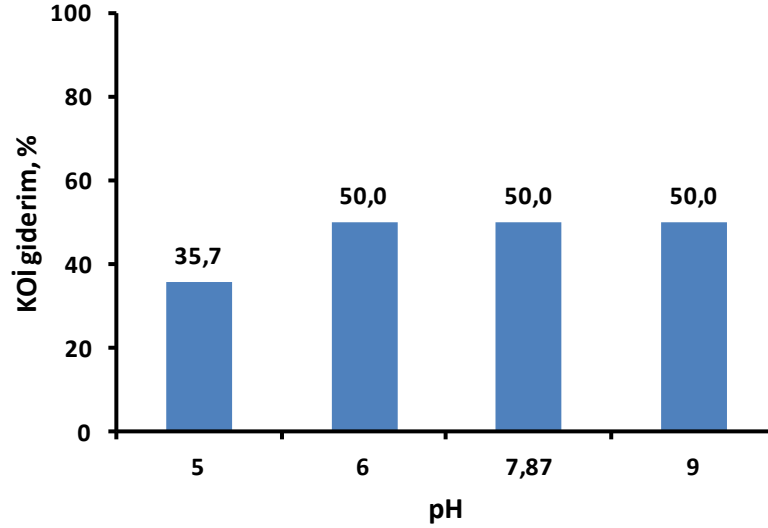
Çizelgede de görüldüğü üzere başlangıç pH değerlerinin artması giderim verimlerini artırırken oluşan çamur miktarlarının da artmasına neden olmuştur. Koagülasyon-flokülasyon prosesi ile arıtmada karşılaşılan en büyük problemlerden birisi de yüksek miktarda çamur oluşumudur. Polielektrolit kullanımı bazı çalışmalarda bu problemin üstesinden gelinmesine katkı sağlayabilmektedir.

4.2.2. Sentetik gri su

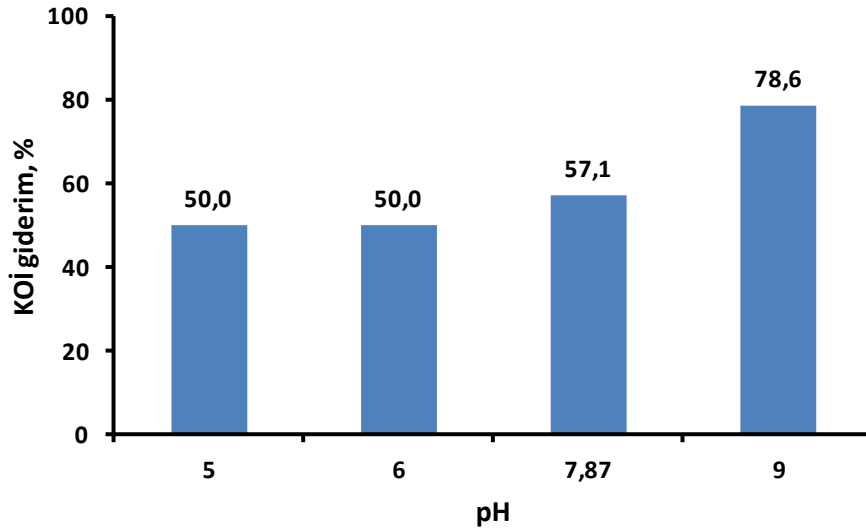
Koagülasyon-flokülasyon prosesi evsel ve farklı endüstriyel atıksuların arıtımında uygulanan bir yöntemdir. Maya endüstrisi (Delipınar, 2007), metal kesme atıksuları (Çiftçi, 2007), deri sanayi atıksuları (Şanlı, 2007), şeker endüstrisi atıksuları (Aliplik Akın, 2010), boya endüstrisi atıksuyu (Balık, 2013; Hakkıtanır, 2019), tekstil endüstrisi atıksuyu (Kırhan Sesler, 2014), şekerleme endüstrisi atıksuları (Dostiyev, 2020) ve meşrubat sanayi atıksuları (Sever, 2021) gibi farklı atıksulardan organik madde gideriminde koagülasyon-flokülasyon prosesinin etkinliği farklı koagülan maddelerle incelenmiştir. Bu çalışmada organik içeriği nedeniyle sentetik gri su ile koagülasyon-flokülasyon deneysel çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sentetik olarak hazırlanan gri suyun başlangıç pH değeri 7.87, AKM konsantrasyonu 42 mg/L ve iletkenlik değeri 373 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir.

Laboratuvarda hazırlanan sentetik gri atıksu örneklerinde İSAT çamuru kullanılarak yapılan koagülasyon-flokülasyon ile KOİ giderim deneyleri için, numunenin orijinal pH değeri olan 7.87 değeri ilk iki beherde 5 ve 6 seviyesine düşürülmüş, son beherde ise 9 pH değerine ayarlanmıştır. Şekil 4.6'da da görüldüğü üzere başlangıç 5 pH değeri için KOİ giderimi %35.7 olarak elde edilirken, daha yüksek pH değerleri için giderim verimi değişmemiş ve %50 olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.7'de sentetik gri atıksuyun arıtımında farklı başlangıç pH değerlerinde 0.17 g/L ACH dozlaması sonucu elde edilen KOİ giderim verimleri verilmiştir. Başlangıç pH değerlerinin 5 ve 6'ya ayarlandığı beherlerde giderim verimi %50 iken, pH 7.87 ve 9 için sırasıyla %57.1 ve %78.6 olarak kademeli bir artış tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Sentetik gri atıksudan farklı pH değerlerinde İSAT çamuru kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle KOİ giderimi (İSAT çamur dozu: 0.16 g/L).

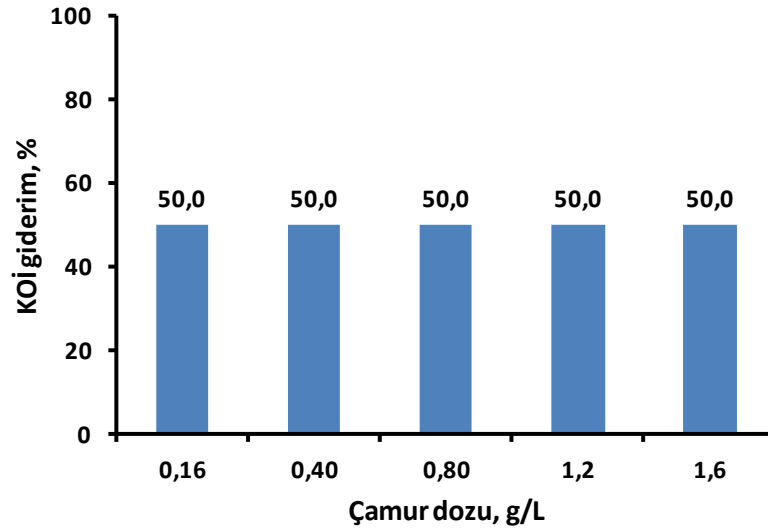


Şekil 4.7. Sentetik gri atıksudan farklı pH değerlerinde ACH kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle KOİ giderimi (ACH dozu: 0.17 g/L).

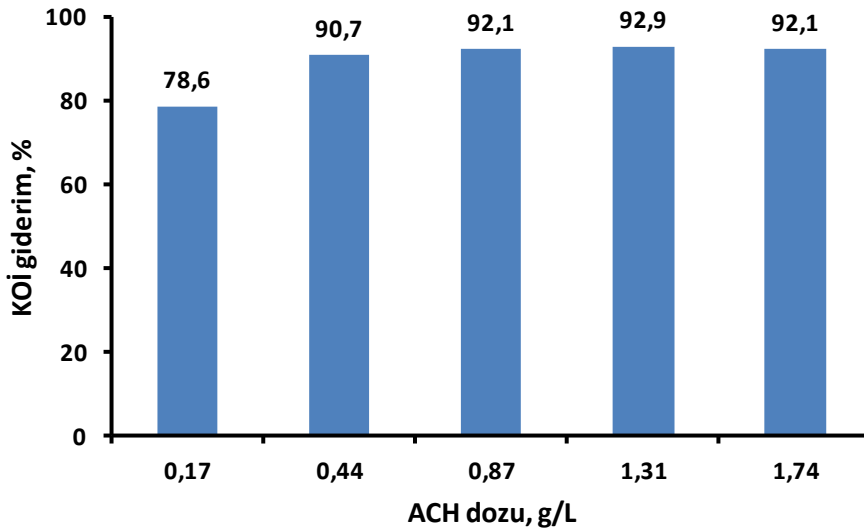
Başlangıç pH değerini değiştirmeden farklı İSAT çamuru dozları ile yapılan deneylerde çamur dozunun KOİ giderim verimi üzerinde olumlu bir katkısının olmadığı Şekil 4.8’de görülmektedir. Çamur dozu 1.6 g/L değerine kadar yükseltilmiş, ancak KOİ giderimi maksimum %50 seviyesinde kalmıştır.

Şekil 4.9’da başlangıç pH değeri 9’a ayarlanmış sentetik gri atıksu örnekleri için ACH dozlarının KOİ giderimi üzerine etkisi görülmektedir. Dozun 0.17 g/L’den 0.44

g/L'ye artırılması KOİ giderimini %78.6'dan %90.7'ye yükseltmiş, sonrasında artan dozlar ise %92 civarında giderim elde edilmesini sağlamıştır.



Şekil 4.8. Sentetik gri atıksudan farklı dozlarda İSAT çamuru kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle KOİ giderimi (Başlangıç pH: 7.87).



Şekil 4.9. Sentetik gri atıksudan farklı dozlarda ACH kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle KOİ giderimi (Başlangıç pH: 9).

Sentetik gri su ile yapılan çamurun koagülan madde olarak kullanıldığı farklı pH denemelerinin yapıldığı deney seti için (Çizelge 3.2'de verilen 5 no.lu set) çökelme sonrası analiz edilen değerler Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Sentetik gri suyun koagülasyon-flokülasyon prosesi ile arıtımı sonrası elde edilen sonuçlar.

Deney Set No					
5	Başlangıç pH	5	6	7.87	9
	Çamur dozu (g/L)	0.16	0.16	0.16	0.16
	Sonuç pH	5.79	6.56	7.87	8.29
	Sonuç iletkenlik (µS/cm)	761	574	449	525

4.3.3. Hümik asit çözeltisi

Hümik maddeler sulardaki çözünmüş organik maddelerin %40-80'ini oluşturan önemli bir fraksiyonudur. Özellikle hümik maddelerin alt grubu olan hümik asitler organik ve inorganik bileşiklerle oluşturduğu bağlar açısından önem arz etmektedir. İçme suyu arıtımında halojenli dezenfeksiyon yan ürünlerinin oluşumunda etkili olan bir grup olması sebebiyle sulardan giderimi önemlidir. Koagülasyon, adsorpsiyon ve ileri ya da kimyasal oksidasyon teknikleri en yaygın uygulanan arıtım yöntemleridir (Şen, 2004).

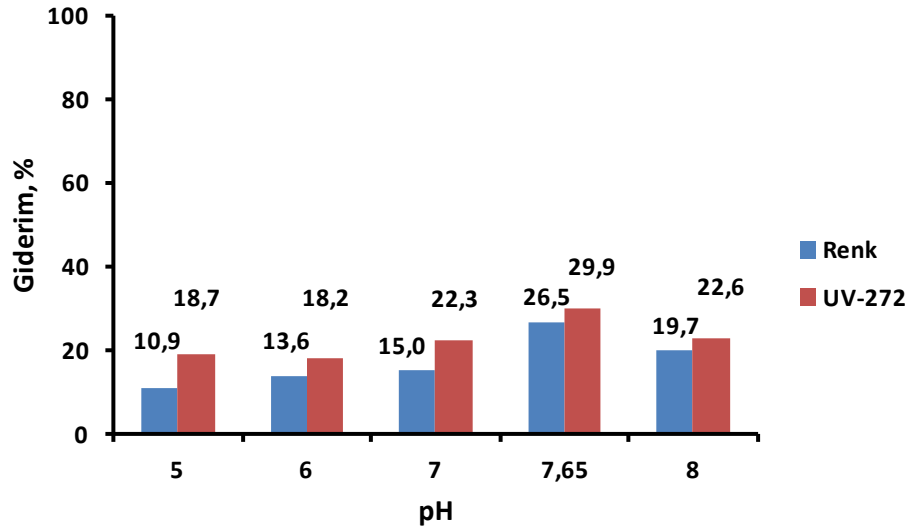
İnorganik ve organik içeriği yüksek olan atıksularda koagülan madde olarak denemesi yapılan İSAT çamurunun musluk suyundaki organik madde giderimine katkısının incelenmesi ve ticari koagülan madde ile kıyaslamasının yapılabilmesi amacıyla, musluk suyuna belirli miktarda ticari hümik asit ilave edilmiş; renk ve hidrofobik maddelerin takibi için 272 nm dalga boyundaki UV absorbans değerleri analiz edilmiştir. Hümik asit çözeltisinin genel özellikleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Hümik asit çözeltisinin içeriği

Parametre	Birim	Konsantrasyon
pH		7.65
İletkenlik	µS/cm	341
Renk	Pt-Co birimi	220
UV ₂₇₂	abs	0.358

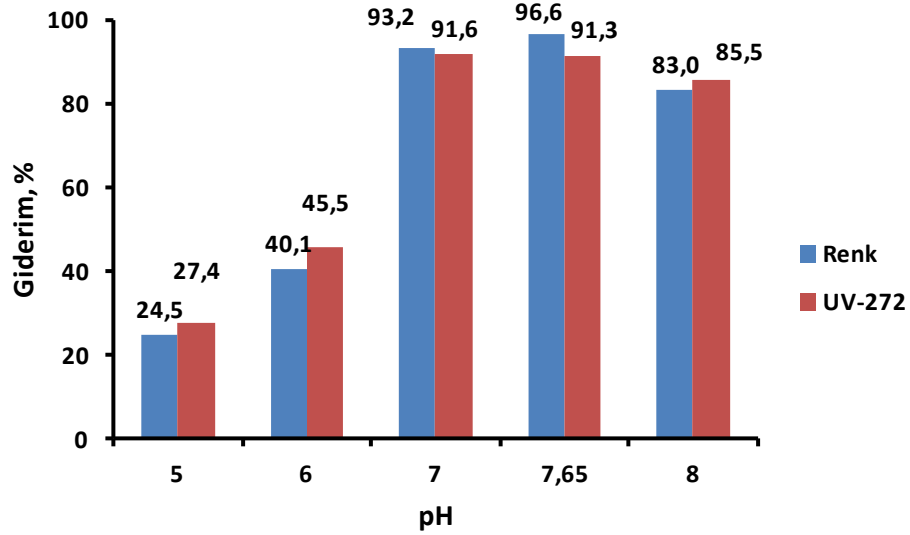
20 mg/L hümik asit ilave edilen musluk suyu koagülasyon-flokülasyon çalışmalarında kullanılmış ve sentetik hümik asit çözeltisi olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.10’da çözeltinin orijinal pH değeri olan 7.65 için, 5, 6, 7 ve 8’e ayarlanan başlangıç pH değerleri için 0.048 g/L İSAT çamur dozlamasıyla yapılan deneysel çalışmaların

sonuçları verilmiştir. En yüksek renk ve UV₂₇₂ parametrelerinin giderimi sırasıyla %26.5 ve %29.9 olarak orijinal pH değerinde (7.65) elde edilmiştir.



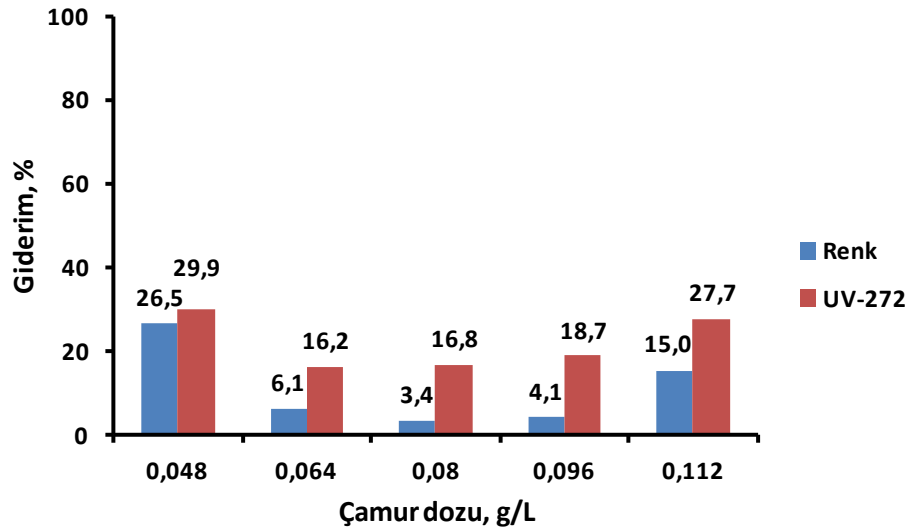
Şekil 4.10. Sentetik hümkik asit çözeltisinden farklı pH değerlerinde İSAT çamuru kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle renk ve UV-272 giderimi (İSAT çamur dozu: 0.048 g/L).

Sentetik hümkik asit çözeltisi için farklı pH değerlerinde 0.052 g/L ACH dozu uygulanması halinde elde edilen renk ve UV₂₇₂ giderim verimleri Şekil 4.11’de görülmektedir. Başlangıç pH değeri 5 ve 6 renk giderimi sırasıyla %24.5 ve %40.1 olarak elde edilirken, pH 7 ve 7.65 için yine sırasıyla %93.2 ve %96.6 seviyesine yükselmiş, 8’e yükseltilen değer ise giderim veriminin %83’e gerilemesine sebep olmuştur. Benzer şekilde en yüksek UV₂₇₂ giderimi pH 7 ve 7.65 için sırasıyla %91.6 ve 91.3 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Sentetik hümkik asit çözeltisinden farklı pH değerlerinde ACH kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle renk ve UV-272 giderimi (ACH dozu: 0.052 g/L).

Şekil 4.12’de artan çamur dozlarının renk ve UV₂₇₂ gideriminde olumlu anlamda bir katkısının olmadığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada (Kucukcongar ve Sevimli, 2013) sulardan koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle toplam organik karbon giderimi incelenmiş ve PACl dozunun 40 mg/L’den daha yüksek verilmesi durumunda TOK gideriminde düşüş ve bulanıklık ve UV absorbans değerlerinde artış gözlenmiştir.



Şekil 4.12. Sentetik hümkik asit çözeltisinden farklı dozlarda İSAT çamuru kullanılarak koagülasyon-flokülasyon yöntemiyle renk ve UV-272 giderimi (Başlangıç pH: 7.65).

Farklı koagülan maddeler farklı türlerdeki doğal organik maddelerin gideriminde etkili olabilmektedir. Yapılan bir çalışmada (Kucukcongar ve Sevimli, 2013) arıtım öncesi ve sonrasında toplam trihalometan ve haloasetik asit konsantrasyonları takip

edilmiş, PACI'nin TTHM öncü bileşiklerinin, alum ve kil ile arıtımın ise THAA öncü bileşenlerinin gideriminde daha etkin olduğu belirtilmiştir. Hümik asitlerin koagülasyon-flokülasyon prosesi ile gideriminin incelendiği başka bir çalışmada (Şen, 2004) ise uygulanan ön arıtım işlemlerinin verimi düşürdüğü ve koagülan yardımcısı olarak polielektrolit kullanımı halinde daha düşük miktarda alum ve demir (III) klorüre ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

Hümik asit çözeltisi ile yapılan farklı pH ve koagülan doz denemelerinin yapıldığı bu üç set deney için (Çizelge 3.2'de verilen 9, 10 ve 11 no.lu setler) çökelme sonrası analiz edilen değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Hümik asit çözeltisinin koagülasyon-flokülasyon prosesi ile arıtımı sonrası elde edilen sonuçlar

Deney Set No						
9	Başlangıç pH	5	6	7	7.65	8
	Çamur dozu (g/L)	0.048	0.048	0.048	0.048	0.048
	Sonuç pH	6.34	7.11	7.61	7.53	7.63
	Sonuç iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	481	393	335	509	403
10	Başlangıç pH	5	6	7	7.65	8
	ACH dozu (g/L)	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052
	Sonuç pH	6.46	7.04	7.49	7.38	7.56
	Sonuç iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	417	378	327	600	346
11	Başlangıç pH	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65
	Çamur dozu (g/L)	0.048	0.064	0.08	0.096	0.112
	Sonuç pH	7.53	7.76	7.68	7.66	7.70
	Sonuç iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	509	297	295	301	312

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Konya içme suyu arıtma tesisinde kimyasal çökeltme prosesi sonucu ortaya çıkan çamurun özelliklerinin belirlenmesi ve sürdürülebilir yeniden kullanım alternatiflerinin önerilmesi hedeflenmiştir. Arıtma tesisinde oluşan çamurun katı madde oranı %3 olarak belirlenmiş, yüksek miktarda alüminyum (72535 mg/kg), demir (7729.3 mg/kg), kalsiyum (42589 mg/kg) ve daha düşük düzeylerde bakır, çinko, krom, kurşun, magnezyum, nikel ve sodyum parametreleri tespit edilmiştir. Arıtma çamuru öncelikle çökelmeye bırakılmış, çökeltilmiş çamurdan koagülan madde üretimi için, çamur etüvde 103⁰C’de kurutulmuş ve kurutulmuş çamur öğütücü kullanılarak parçalanmıştır. Elde edilen katı çamurun etkinliği metal kaplama atıksuyu, sentetik gri su ve hümik asit çözeltilerinin koagülasyon-flokülasyon ile arıtımında incelenmiş ve ticari olarak temin edilen ACH ile karşılaştırılmıştır.

Metal kaplama atıksuyunda çamur ve ACH kullanımı sonucu en yüksek AKM ve çinko giderim verimleri pH 8 değerinde elde edilmiştir. Çamur için en yüksek AKM giderimi 0.8 g/L dozunda %96 olarak elde edilmiş, diğer dozlarda ise %92.7-95.7 aralığında oldukça yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Çinko gideriminde 0.16-1.6 g/L aralığındaki tüm dozlarda %93.2-95.9 aralığında giderim verimleri elde edilmiştir. ACH kullanımında ise AKM giderim verimleri çalışılan dozlar için %92.6-96.1 aralığında oldukça yüksek değerlerde elde edilmiştir. Çinko giderim verimi ise 0.17, 0.44 ve 0.87 g/L dozları için sırasıyla %88.7, %74.8 ve %82.8 olarak belirlenmiş, sonrasında denenen daha yüksek dozlarda (1.30-3.48 g/L) %92.3-95.7 aralığında giderim verimleri elde edilmiştir. Metal kaplama atıksuyu için çamur ve ACH kullanımı birbiriyle kıyaslanabilecek düzeydedir.

Sentetik gri su arıtımında çamur kullanımında KOİ giderim verimi pH 5 değeri için %35.7 elde edilmiş, pH 9’a kadar artan pH değerlerinin tamamında giderim %50 değerinde kalmıştır. ACH ile yapılan deneylerde ise maksimum KOİ giderimi pH 9 için %78.6 olarak elde edilmiş, dozun 0.17 g/L’den 0.44 g/L’ye artırılması KOİ giderimini %78.6’dan %90.7’ye yükseltmiş, sonrasında artan dozlar ise %92 civarında giderim elde edilmesini sağlamıştır.

Hümik asit çözeltilisinden çamur dozlaması ile en yüksek renk ve UV₂₇₂ parametrelerinin giderimi sırasıyla %26.5 ve %29.9 olarak orijinal pH değerinde (7.65) elde edilmiştir, artan dozlar giderim veriminin her iki parametre için de düşmesine

neden olmuştur. ACH kullanımı ile suyun orijinal pH değerinde (7.65) %96.6 renk ve %91.3 UV₂₇₂ giderimi elde edilmiştir.

Günümüzde endüstriyel atıkların farklı alanlarda yeniden kullanımı ile ilgili laboratuvar ölçekli bilimsel çalışmalar ve tesis ölçekli uygulamaların sayısı hızla artmaktadır. Özellikle katı atıkların uzaklaştırılmasında atık miktarının ve çeşitliliğinin azaltılmasına katkı sağlaması ve başka endüstrilerde ham madde ihtiyacını azaltması gibi çevresel ve ekonomik çift taraflı avantajları bu uygulamaların yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Atıksu arıtma tesislerinde oluşan çamurlar ile kıyaslandığında içme suyu arıtma tesislerinde oluşan çamurların yeniden kullanımı veya enerji eldesi gibi faydalı bir amaç için değerlendirilmesi daha zordur ve bu alanda çok sınırlı sayıda laboratuvar/tesis ölçekli çalışma mevcuttur. Bu tez çalışmasında Konya içme suyu arıtma tesisi özelinde arıtma çamurunun içeriğinin belirlenmiş ve yeni bir kullanım alanı için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ile literatürde mevcut açıklığın doldurulması ve arıtma tesisinde oluşan atığa uygulanabilecek faydalı bir kullanım alanı önerilmesi hedeflenmiştir. Yapılan çalışmanın bu alandaki literatüre katkı sağlayacağı ve diğer içme suyu arıtma tesislerinde oluşan çamurun faydalı bir amaç için kullanımı fikrine katkısı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Adhoum, N., Monser, L., Bellakhal, N., & Belgaied, J. E. (2004). Treatment of electroplating wastewater containing Cu^{2+} , Zn^{2+} and Cr (VI) by electrocoagulation. *Journal of hazardous materials*, 112(3), 207-213.
- Ahmad, T., Ahmad, K., Ahad, A., & Alam, M. (2016). Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant. *Journal of Environmental Management*, 182, 606-611.
- Aliplik Akın, B. (2010) Şeker endüstrisi atıksularının kimyasal koagülasyon yöntemiyle arıtılabilirliğinin incelenmesi ve optimum işletim koşullarının belirlenmesi / Investigation of treatment of the sugar industrial wastewaters by chemical coagulation method and determination of optimum operating conditions, Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Amuda, O. S., Amoo, I. A., Ipinmoroti, K. O., & Ajayi, O. O. (2006). Coagulation/flocculation process in the removal of trace metals present in industrial wastewater. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 10(3), 159-162.
- Awab, H., Paramalinggam, P. T., & Yusoff, A. R. M. (2012). Characterization of alum sludge for reuse and disposal. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(4).
- Balık, Ö.Y., (2013) Boya endüstrisi atıksuyunun koagülasyon ile ön arıtımı / Pretreatment of dye industry wastewater by coagulation, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Basibuyuk, M. E. S. U. T., & Kalat, D. G. (2004). The use of waterworks sludge for the treatment of vegetable oil refinery industry wastewater. *Environmental technology*, 25(3), 373-380.
- Basri, M. H., Don, N. M., Kasmuri, N., Hamzah, N., Alias, S., & Azizan, F. A. (2019, November). Aluminium recovery from water treatment sludge under different dosage of sulphuric acid. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1349, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- Berradi, M., Chabab, Z., , Arroub, H., Nounah, H., Harfi, A.E., Optimization of the coagulation/flocculation process for the treatment of industrial wastewater from the hot dip galvanizing of steel. *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2) (2014) 360-365.
- Berradi, M., Chabab, Z., Arroub, H., Nounah, H., & El Harfi, A. (2014). Optimization of the coagulation/flocculation process for the treatment of industrial wastewater from the hot dip galvanizing of steel. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5(2), 360-365.
- Camcı, S. (2008) Metal Kaplama Atıksuyunun Elektrokoagülasyon Yöntemi İle Arıtılması, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2008*

- Chen, Q., Luo, Z., Hills, C., Xue, G., Tyrer, M., (2009). Precipitation of heavy metals from wastewater using simulated flue gas: Sequent additions of fly ash, lime and carbon dioxide. *Water Research* 43 (2009) 2605–26 14
- Cremades, L. V., Cusidó, J. A., & Arteaga, F. (2018). Recycling of sludge from drinking water treatment as ceramic material for the manufacture of tiles. *Journal of cleaner production*, 201, 1071-1080.
- ÇELİK, A., Mesude, Ü. N. A. L., & KUTLU, T. (2009). SERA KOŞULLARINDA ARITMA ÇAMURU UYGULAMALARININ *Freesia* spp’NİN ÇİÇEKLENME ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 23(49), 50-54.
- Çetinkale, G., (2009), ‘’ *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Çim alanlarında kentsel su arıtım sistem çamurlarından yararlanabilme olanakları’’ , *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2009*
- Çiftçi, Ç. (2007). Metal kesme atıksularının koagülasyon ve elektrokoagülasyon ile arıtımı/ Treatment of the metal cutting wastewater by coagulation and electrocoagulation, Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı.
- Dassanayake, K. B., Jayasinghe, G. Y., Surapaneni, A., & Hetherington, C. (2015). A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges. *Waste Management*, 38, 321-335.
- Delipınar, Ş., (2007) Maya endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyon ve kimyasal koagülasyon ile arıtımı / Treatment of yeast industry's effluents by using electrocoagulation and chemical coagulation, Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalı.
- Dostiyevev, H. (2020) Şekerleme endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyon ve kimyasal koagülasyon yöntemleri ile arıtımı / Treatment of confectionery wastewater with electrocoagulation and chemical coagulation processes, Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü / Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı / Çevre Mühendisliği Bilim Dalı.
- Erkan, E., (2013), ‘’ Arıtma Tesisi Çamuru Kullanılarak Atıksudan Fosfat Giderimi’’ , *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Haziran, 2013*
- Fragoso, R. A., & Duarte, E. A. (2012). Reuse of drinking water treatment sludge for olive oil mill wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 66(4), 887-894.
- Ghorpade, A., & Ahammed, M. M. (2018). Water treatment sludge for removal of heavy metals from electroplating wastewater. *Environmental Engineering Research*, 23(1), 92-98.
- Guo, Z-R., Zhang, G., Fang, J., Dou, X., (2005). Enhanced chromium recovery from tanning wastewater. *Journal of Cleaner Production* 14 (2006) 75-79.

- Matilainen, A., Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in colloid and interface science*, 159(2), 189-197.
- Moghaddam, S. S., Moghaddam, M. A., & Arami, M. (2010). Coagulation/flocculation process for dye removal using sludge from water treatment plant: optimization through response surface methodology. *Journal of hazardous materials*, 175(1-3), 651-657.
- Nair, A. T., & Ahammed, M. M. (2015a). Water treatment sludge for phosphate removal from the effluent of UASB reactor treating municipal wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 94, 105-112.
- Nair, A. T., & Ahammed, M. M. (2015b). The reuse of water treatment sludge as a coagulant for post-treatment of UASB reactor treating urban wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 96, 272-281.
- Ong, D. C., Kan, C. C., Pingul-Ong, S. M. B., & de Luna, M. D. G. (2017). Utilization of groundwater treatment plant (GWTP) sludge for nickel removal from aqueous solutions: isotherm and kinetic studies. *Journal of environmental chemical engineering*, 5(6), 5746-5753.
- Ooi, T. Y., Yong, E. L., Din, M. F. M., Rezanian, S., Aminudin, E., Chelliapan, S., ... & Park, J. (2018). Optimization of aluminium recovery from water treatment sludge using Response Surface Methodology. *Journal of environmental management*, 228, 13-19.
- Os, A., Ia, A., Ko, I., Oo, A., Coagulation / flocculation process in the removal of trace metals present in industrial wastewater. *J. Appl. Sci. Environ. Mgt. September, 2006 Vol. 10 (3) 159- 162*.
- Pang, F. M., Kumar, P., Teng, T. T., Omar, A. M., & Wasewar, K. L. (2011). Removal of lead, zinc and iron by coagulation–flocculation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(5), 809-815.
- Pang, F. M., Teng, S. P., Teng, T. T., & Omar, A. M. (2009). Heavy metals removal by hydroxide precipitation and coagulation-flocculation methods from aqueous solutions. *Water Quality Research Journal*, 44(2), 174-182.
- Pang, F.M., Kumar, P., Teng, T.T., Omar A.K.M., Wasewar, K.L., Removal of lead, zinc and iron by coagulation–flocculation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 42 (2011) 809-815.
- Pang, F.M., Teng, S. P., Teng, T.T., and Omar, A. K. M., Heavy Metals Removal by Hydroxide Precipitation and Coagulation Flocculation Methods from Aqueous Solutions. *Water Qual. Res. J. Can. 2009 · Volume 44, No. 2, TBA-TBA*.
- Sever, E. (2021) Meşrubat sanayi atıksularının arıtımında elektrokoagülasyon ve kimyasal koagülasyon yöntemlerinin değerlendirilmesi / Evaluation of electrocoagulation and chemical coagulation methods in the treatment of soft drink industry wastewater, Yüksek lisans tesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı.

- Shahin, S. A., Mossad, M., & Fouad, M. (2019). Evaluation of copper removal efficiency using water treatment sludge. *Water science and engineering*, 12(1), 37-44.
- Sotero-Santos, R. B., Rocha, O., & Povinelli, J. (2005). Evaluation of water treatment sludges toxicity using the *Daphnia* bioassay. *Water Research*, 39(16), 3909-3917.
- Suman, A., Ahmad, T., & Ahmad, K. (2018). Dairy wastewater treatment using water treatment sludge as coagulant: a novel treatment approach. *Environment, Development and Sustainability*, 20(4), 1615-1625.
- Sun, J., Pikaar, I., Sharma, K. R., Keller, J., & Yuan, Z. (2015). Feasibility of sulfide control in sewers by reuse of iron rich drinking water treatment sludge. *Water research*, 71, 150-159.
- Şanlı, N. (2007) Deri sanayi atıksularının kimyasal koagülasyon ve elektrokoagülasyon ile arıtımı / Tanning industrial wastewater treatment by chemical coagulation and electrocoagulation, Yüksek lisans tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Şen, S. (2004) Effects of ozonation, photocatalytic oxidation, and sequential oxidation on coagulation of humic acids / Ozonlamanın, fotokatalitik oksidasyonun ve birleştirilmiş oksidasyonun hümitik asitlerin koagülasyonu üzerine etkileri, Yüksek Lisans tezi, Boğaziçi Üniversitesi / Çevre Bilimleri Enstitüsü / Çevre Teknolojileri Ana Bilim Dalı.
- Taek-Keun, O. H., Nakaji, K., Chikushi, J., & PARK, S. G. (2010). Effects of the application of water treatment sludge on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and changes in soil properties. *J. Fac. Agr., Kyushu Univ*, 55(1), 15-20.
- URL-1: <https://www.koski.gov.tr/sayfa/icme-suyu-aritma-tesisi-genel> (Erişim tarihi: 27.12.2021, 10:00)
- URL-2: <https://www.koski.gov.tr/sayfa/icme-suyu-aritma-tesisi-genel> (Erişim tarihi: 04.05.2022, 22:00)
- Vaezi, F., & Batebi, F. (2001). Recovery of iron coagulants from Tehran water-treatment-plant sludge for reusing in textile wastewater treatment. *Iranian journal of public health*, 30(3-4), 135-138.
- Wu, C. H., Lin, C. F., & Chen, W. R. (2004). Regeneration and reuse of water treatment plant sludge: adsorbent for cations. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39(3), 717-728.
- Xu, D., Zhou, B., & Yuan, R. (2019, February). Optimization of coagulation-flocculation treatment of wastewater containing Zn (II) and Cr (VI). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 227, No. 5, p. 052049). IOP Publishing.

- Xu, D., Zhou, B., and Yuan, R., Optimization of coagulation-flocculation treatment of wastewater containing Zn(II) and Cr(VI). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 227 (2019) 052049
- Xu, G. R., Yan, Z. C., Wang, Y. C., & Wang, N. (2009). Recycle of Alum recovered from water treatment sludge in chemically enhanced primary treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 161(2-3), 663-669.
- Yıldız, Ş., Yılmaz, E., & Ölmez, E. (2009). Evsel nitelikli arıtma çamurlarının stabilizasyonla bertaraf alternatifleri: İstanbul örneği. *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, TÜRKAY*, 1(8).
- Zhou, Y. F., & Haynes, R. J. (2011). Removal of Pb (II), Cr (III) and Cr (VI) from aqueous solutions using alum-derived water treatment sludge. *Water, Air, & Soil Pollution*, 215(1), 631-643.

