

**SULARDAN KOAGÜLASYON/YUMAKLAŞTIRMA İŞLEMİ  
İLE AĞIR METAL GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**AN INVESTIGATION ON REMOVAL OF HEAVY METALS  
FROM WATER BY COAGULATION/FLOCCULATION**

**AYŞE AKANSER**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

**ÇEVRE Mühendisliği Anabilim Dalı** için Öngördüğü

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

olarak hazırlanmıştır.

2010

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....  
Prof. Dr. Dilek ŞOLPAN ÖZBAY

Üye (Danışman) :.....  
Yrd. Doç. Dr. Ayşegül LATİFOĞLU

Üye :.....  
Prof. Dr. Ayşenur UĞURLU

Üye :.....  
Prof. Dr. A. Cemal SAYDAM

Üye :.....  
Doç. Dr. Selim L. SANİN

ONAY

Bu tez .... / .... / ..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

... / ... / .....

Prof. Dr. Adil DENİZLİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

# SULARDAN KOAGÜLASYON/YUMAKLAŞTIRMA İŞLEMİ İLE AĞIR METAL GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

**Ayşe Akanser**

## ÖZ

Bu çalışmanın amacı, sularda ağır metal ve bulanıklığın kireç kullanılarak koagülasyon-yumaklaştırma işlemi ile giderilmesinin araştırılmasıdır. Çalışmalar üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; alüm ile bulanıklık giderimleri araştırılmıştır. Bu aşamada alüm ile bulanıklık gideriminin %98-100 oranında sağlandığı bulunmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında bulanıklık ve bakır-kurşun ağır metallerini ayrı ayrı içeren çözeltilerde kireç koagülasyon işlemi uygulanarak bulanıklık ve metal giderimleri araştırılmıştır. Bu aşamada bulanıklık giderimleri; yüksek bakır miktarı içeren çözeltilerde pH 7-8'de 0.3 NTU'nun (Nephelometric Turbidity Unit) altına düşerek %99 oranında giderilmiş ve çözeltide bakır metalinin bulunmasının bulanıklık giderimine olumlu etkisi olduğu belirlenmiştir.

Bakır gideriminde; pH arttıkça bakır gideriminde de artış tespit edilmiştir. Bakır giderimleri pH 8 değerinde tüm koşullarda 2 mg/L'nin altına düşerek yönetmeliklerce istenen bakır giderimi elde edilmiştir. Kurşun ağır metali içeren çözeltilerde ise bulanıklık giderimi %50-60 oranında giderilirken, kurşun giderimi %81-93 oranında giderilmiştir.

Çalışmanın son aşamasında ise bulanıklık ve bakır-kurşun karışımı içeren çözeltilerde bulanıklık ve ağır metal giderimi kireç koagülasyonu ile araştırılmıştır. Bakır-kurşun karışımında bulanıklık giderimi sadece bakır içeren çözeltilerdeki bulanıklık giderimine benzer olarak %100 verim ile giderilmiştir. Bakır-kurşun karışımı, sadece bakır ya da kurşun içeren çözeltiler ile metal giderimi dikkate alındığı zaman benzer giderim sonuçları elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal giderimi, Bulanıklık, Koagülasyon-Yumaklaştırma, Kireç.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ayşegül Latifoğlu, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı

# **AN INVESTIGATION ON REMOVAL OF HEAVY METALS FROM WATER BY COAGULATION/FLOCCULATION**

**Ayşe Akanser**

## **ABSTRACT**

The goal of this work is to study the removal of heavy metals and turbidity in water by use of lime in the coagulation and flocculation process. The study is divided into three parts. In the first part, removal of turbidity by alum have been studied. It has been found that removal by alum has a success rate of 98-100%. In the second part, in solutions with turbidity and copper-lead heavy metals, lime coagulation process has been studied for removal. In solutions of high-copper content at pH 7-8, turbidity fell under 0.3 NTU to a rate of 99% removal, and it has been found that existence of copper in the solution had a positive effect on the removal process.

It has also been observed that copper removal has increased with increasing pH. In all conditions at pH 8, copper removal fell under 2 mg/L to the concentrations specified by regulations. In solutions with lead, turbidity removal has been accomplished at rates of 50-60% and lead removal has been accomplished at 81-93%.

In the last part of the study, turbidity and heavy metal removal has been studied for solutions with turbidity and copper-lead mix. In copper-lead mixes, turbidity removal has been accomplished at 100% rate similar to the success rate in solutions with just lead content. The results for copper-lead mix have been comparable to results accomplished for solutions containing just copper or just lead.

**Keyword :** Heavy metal removal, Turbidity, Coagulation-Flocculation, Lime.

Advisor : Asist. Prof. Dr. Ayşegül Latifoğlu, Hacettepe University, Department of Environmental Engineering, Environmental Sciences Section

## TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleőmesinde katkılarından dolayı, aőađıda adı geçen kiői ve kuruluőlara içtenlikle teşekkür eder.

Sayın Yrd. Doç. Dr. Ayőegül Latifođlu (tez danıőmanı), tez çalıőmasının gerçekleőtirilmesi için gerekli ortamı hazırlamıő, bilgi ve tecrübesiyle çalıőmanın yol haritasını belirlemiő ve bu sűrecin her aőamasında maddi manevi destek sađlamıőtır.

evre Műhendisliđi Bűlűmű'ndeki hocalarım; Sayın Prof.Dr. Ayőenur Uđurlu, Sayın Prof.Dr. Gűlen Gűllű, Sayın Prof.Dr. A. Cemal Saydam, Sayın Doç. Dr. Selim Sanin, Sayın Yrd. Doç. Dr. Merih Aydınalp Kűksal, Sayın Dr. Tűrkay Onacak alıőmalar sűresince destek ve yardımcı olmuőtardır.

Ayrıca; gerek tez çalıőmaları gerekse de yűksek lisansın tűm aőamalarında verdiđi ۆnemli katkılarıyla daima yanımda olan ailem ve dostlarım gűsterdikleri sabırla manevi destek ve çalıőma azmi sađlamıőtardır.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZ .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. TEMEL BİLGİLER .....	3
2.1. Sularda Ağır Metal Kirliliği .....	3
2.1.1. Bakır .....	3
2.1.1.1. Bakırın Tanımı .....	3
2.1.1.2. Bakırın Fiziksel-Kimyasal Özellikleri .....	3
2.1.1.3. Su Fazında Bakır Kimyası.....	4
2.1.1.4. Kullanım Alanları ve Kirlenici Kaynakları.....	5
2.1.1.5. Sağlık ve Çevresel Etkileri .....	5
2.1.2. Kurşun.....	5
2.1.2.1. Kurşunun Tanımı .....	5
2.1.2.2. Kurşunun Fiziksel-Kimyasal Özellikleri .....	6
2.1.2.3. Su Fazında Kurşun Kimyası.....	6
2.1.2.4. Kullanım Alanları ve Kirlenici Kaynakları.....	7
2.1.2.5. Sağlık ve Çevresel Etkileri .....	7
2.2. Sularda Bulanıklık.....	8
2.3. İçme suyu Standartları.....	9
2.4. Koagülasyon- Yumaklaştırma.....	10
2.5. Ağır Metallerin Sudan Arıtılma Yöntemleri.....	13
2.6. Jar test.....	16
2.7. Kireç .....	17
2.8. Koagülasyon-Yumaklaştırma ile Metal Giderim Çalışmaları .....	19
3. MATERYAL VE METOT.....	21
3.1. Deneysel Yöntemler .....	21

3.2. Çalışmada Kullanılan Kimyasallar .....	22
3.3. Analitik Metodlar .....	22
3.3.1. Ağır Metal Analizleri.....	22
3.3.1.1.Bakır Analizleri.....	23
3.3.1.2.Kurşun Analizleri.....	24
3.3.2. Bulanıklık Analizleri .....	25
3.3.3. pH Analizleri .....	25
3.4. Deneysel Tekrarlanabilirlik .....	25
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR.....	26
4.1. Alüm ile Bulanıklık Giderimi .....	26
4.2. Kireç ile Bakır ve Bulanıklık Giderimi.....	28
4.2.1. Başlangıç Bulanıklık Miktarının Etkisi .....	29
4.2.1.1. Bulanıklık Giderimine Etkisi .....	29
4.2.1.2. Bakır Giderimine Etkisi .....	33
4.2.2. Başlangıç Bakır Konsantrasyonunun Bulanıklık ve Bakır Giderimine Etkisi	36
4.2.2.1. Bulanıklık Giderimine Etkisi .....	36
4.2.2.2. Bakır Giderimine Etkisi .....	37
4.3. Kireç ile Kurşun ve Bulanıklık Giderimi.....	39
4.3.1. Bulanıklık Giderimi.....	39
4.3.2. Kurşun Giderimi.....	41
4.4. Kurşun-Bakır Karışımında Kireç ile Bulanıklık ve Metal Giderimi .....	42
4.4.1. Bulanıklık Giderimi.....	43
4.4.2. Metal Giderimi .....	44
5. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	46
6. ÖNERİLER.....	48
7. KAYNAKLAR.....	49
8. ÖZGEÇMİŞ .....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## Sayfa

Şekil 2.1. Negatif yüklü bir kolloidin etrafındaki tabakalar (Eroğlu et al., 2008). ...	11
Şekil 2.2. Metallerin hidroksit olarak çökmesi sonucunda suda kalan metal konsantrasyonlarının pH'la değişimi (Metcalf ve Eddy, 2003). .....	16
Şekil 3.1. Bakır kalibrasyon eğrisi.....	23
Şekil 3.2. Kurşun kalibrasyon eğrisi.....	24
Şekil 4.1. Kireç ve NaOH ile farklı pH değerlerinde bulanıklık giderimleri.....	27
Şekil 4.2. Alüm ile farklı pH değerlerinde bulanıklık giderimleri (30NTU-pH ayarlama NaOH ile).....	27
Şekil 4.3. Bulanıklık miktarlarının kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimine etkisi ([Cu <sub>i</sub> ]=3mg/L).....	30
Şekil 4.4. Bulanıklık miktarlarının NaOH kullanılan çözeltilerde bulanıklık giderimine etkisi ([Cu <sub>i</sub> ]=3mg/L) .....	31
Şekil 4.5. Bulanıklık miktarlarının kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimine etkisi ([Cu <sub>i</sub> ]=10mg/L).....	32
Şekil 4.6. Bulanıklık miktarlarının NaOH kullanılan çözeltilerde bulanıklık giderimine etkisi ([Cu <sub>i</sub> ]=10mg/L) .....	32
Şekil 4.7. Bulanıklık miktarının kireç koagülasyonu ile bakır giderimine etkisi ([Cu <sub>i</sub> ]=3mg/L).....	33
Şekil 4.8. Bulanıklık miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bakır giderimine etkisi ([Cu <sub>i</sub> ]=3mg/L).....	34
Şekil 4.9. Bulanıklık miktarının kireç koagülasyonu ile bakır giderimine etkisi ([Cu <sub>i</sub> ]=10 mg/L).....	35
Şekil 4.10. Bulanıklık miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bakır giderimine etkisi ([Cu <sub>i</sub> ]=10mg/L).....	35
Şekil 4.11. Bakır miktarının kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimine etkisi (Bulanıklık=30 NTU).....	37
Şekil 4.12. Bakır miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bulanıklık giderimine etkisi (Bulanıklık= 30NTU).....	37
Şekil 4.13. Bakır miktarının kireç koagülasyonu ile bakır giderimine etkisi (Bulanıklık=30 NTU).....	38
Şekil 4.14. Bakır miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bakır giderimine etkisi (Bulanıklık= 30NTU).....	38



Şekil 4.15. Bulanıklık miktarının kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimine etkisi ([Pb <sub>i</sub> ]= 10 mg/L) .....	40
Şekil 4.16. Bulanıklık miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bulanıklık giderimine etkisi ([Pb <sub>i</sub> ]= 10 mg/L) .....	40
Şekil 4.17. Bulanıklık miktarının kireç koagülasyonu ile kurşun giderimine etkisi ([Pb <sub>i</sub> ]= 10 mg/L) .....	41
Şekil 4.18. Bulanıklık miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde kurşun giderimine etkisi ([Pb <sub>i</sub> ]= 10 mg/L) .....	42
Şekil 4.19. Farklı metal içeriklerinde kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimi (55 NTU).....	44
Şekil 4.20. Farklı metal içeriklerinde kireç koagülasyonu ile bakır giderimi (55 NTU).....	45
Şekil 4.21. Farklı metal içeriklerinde kireç koagülasyonu ile bakır giderimi (55 NTU).....	45

## ÇİZELGELER DİZİNİ

## Sayfa

Çizelge 2.1. Bakırın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (Lenntech, 2009a). ....	4
Çizelge 2.2. Kurşunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (Lenntech, 2009b). ....	6
Çizelge 2.3. Bulanıklık ve Ağır Metal Standartları (WHO, 1993; US EPA, 2001; EU, 1998; Sağlık Bakanlığı, 2005; TSE 266, 1997).....	9
Çizelge 2.4. Çeşitli koagülanların özellikleri (Metcalf ve Eddy, 2003).....	13
Çizelge 2.5. Ağır metal arıtma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları (Kurniawan et al., 2006). ....	14
Çizelge 3.1. Bakır kalibrasyon değerleri. ....	23
Çizelge 3.2. Kurşun kalibrasyon değerleri. ....	24
Çizelge 4.1. Alüm ile bulanıklık gideriminin araştırılmasında deney koşulları.....	26
Çizelge 4.2. Kireç ile bulanıklık ve bakır gideriminin araştırılmasında deney koşulları. ....	29
Çizelge 4.3. Kireç ile bulanıklık ve kurşun gideriminin araştırılmasında deney koşulları. ....	39
Çizelge 4.4. Kireç ile bakır-kurşun ve bulanıklık gideriminin araştırılmasında deney koşulları. ....	43

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

[Cu <sub>ç</sub> ]	Kalan bakır konsantrasyonu
[Cu <sub>i</sub> ]	Başlangıç bakır konsantrasyonu
EU	Avrupa Birliği
[Pb <sub>ç</sub> ]	Kalan kurşun konsantrasyonu
[Pb <sub>i</sub> ]	Başlangıç kurşun konsantrasyonu
rpm	Dakikadaki devir sayısı
USEPA	A.B.D. Çevre Koruma Örgütü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

## 1. GİRİŞ

Son 50 yıldaki teknolojik gelişmeler yaşam koşullarını eskisine göre çok kolaylaştırmasının yanı sıra, çevre kirliliğinde büyük bir artışa neden olmuştur. Kadmiyum, kurşun, çinko, kurşun, nikel, bakır ve krom gibi ağır metaller veya bunların bileşikleri çeşitli metal kaplama, maden ve kimyasal endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Aziz et al., 2008). Bu kullanımları sağlamak için Dünya'da her sene 12 milyon ton bakır ve 3 milyon ton kurşun metali kaynaklardan çıkarılmaktadır ve bakırın sadece %20'sinin geri dönüşümü sağlanırken kurşunun %50'sinin geri dönüşümü sağlanmaktadır (Wellmer et al., 2007). Geri dönüşümü sağlanmayan kısım ise; kullanımlar sonucunda su kirliliğinde büyük bir artışa yol açmıştır. Toksik özellikleri nedeniyle bu metallerden birinin aşırı miktarda bulunması suyun yararlı bir şekilde kullanılmasının önüne geçecektir (Aziz et al., 2008).

Ağır metaller sulu ortamlarda buldukları zaman organizmalar tarafından absorbe edilir. Bir kere besin zincirine girdikleri takdirde, zamanla büyük konsantrasyonlarda ağır metal insan vücudunda birikebilir. Metaller; izin verilen konsantrasyondan yüksek konsantrasyonda insan vücuduna girdiğinde ciddi sağlık sorunlarına yol açmaktadır. Bakır hızlıca kan sistemine geçmekte ve tüm vücutta yayılmaktadır. Bakır yüksek dozda alındığı zaman ciğer ve böbreğin zarar görmesine sebep olur. Ayrıca kronik bakır zehirlenmesi Wilson hastalığı ile sonuçlanmaktadır (Bojic et al., 2009). Kurşun ise; bebeklerde ve çocuklarda fiziksel ve zihinsel gelişmeyi engellemekte, yetişkinlerde ise sinir sisteminde bozukluklara, düşüklere, beyinde zarara sebep olmaktadır (Sawyer et al., 2003). Bu yüzden metal ile kirlenmiş suyu; sucul canlılar ve insani tüketimi sağlıklı kılmak amacı ile arıtmak gerekmektedir (Kurniawan et al., 2006).

Son zamanlarda hem endüstrilerden ve madenlerden çıkan metalle kirlenmiş su miktarını azaltmak için hem de çıkan suyun kalitesini iyileştirmek için ağır metallerle kirlenmiş suların arıtılmasında farklı arıtma teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler; koagülasyon-yumaklaştırma, kimyasal çöktürme, adsorbsiyon, iyon değişimi ve ters ozmoz işlemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Farklı yöntemler sudan ağır metalleri gidermek için uygulansa da uygulamada hepsinin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır (Kurniawan et al., 2006). Koagülasyon-yumaklaştırma ve kimyasal çöktürme basit ekipmaları, kolay kullanımı, yüksek konsantrasyonda ağır

metal içeren suların büyük hacimlerde arıtma kapasitesi ve ucuz maliyeti açısından yaygın olarak uygulanmaktadır (Li et al., 2003; Aziz et al., 2008).

Koagülasyon ile ağır metal giderimi konusunda farklı koagülantlar kullanılarak bazı çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak bu çalışmalar koagülasyon-yumaklaştırma ve kireç ile çöktürme işleminin uygulanmasını kapsamaktadır.

Ağır metallerle kirlenmiş sulardan bakır arıtımı işlenmemiş kireçtaşı kullanılarak pH ayarlama yapıldığı koşullarda ise pH 9'un üzerinde bakır giderimi 0.04mg/L'nin altına düşerek %96 giderim verimi sağlanmaktadır (Kang et al., 2003). Her biri 2 mg/L Cd, Pb, Zn, Ni, Cu ve Cr içeren ağır metal çözeltileri farklı partikül içeren ortamlarda karıştırılmışlardır. Kireçtaşı olan ortamda pH 8.5'de çoğu metalin %90'ı arıtılmıştır (Aziz et al., 2008). Bu çalışmada ise doğal suyun sahip olduğu pH değerlerine yakın koşullara suda gereksiz yere pH artışı yapmamak için pH 6-7-8 değerlerinde kireç kullanarak bulanıklık, Cu ve Pb ile giderimleri inceledik.

Bu çalışmalar koagülasyon işleminde kireç ve diğer koagülantlar ile ağır metal ve bulanıklık gideriminin başarılı olduğunu göstermiştir. Bizim çalışmamızda diğer çalışmalardan yola çıkılarak ağır metal ve bulanıklık içeren çözeltilere kireç ile koagülasyon işlemi uygulanmıştır. Çözeltilerde bulanıklık artışının bulanıklık ve metal giderimine etkisi, başlangıç metal konsantrasyonundaki artışın bulanıklık ve metal giderimine olan etkisi de incelenmesi için farklı sentetik çözeltiler; farklı bulanıklık, pH, ağır metal konsantrasyonları olacak şekilde hazırlanmıştır. Ayrıca çözeltilerde giderime etkinin bazik koşullardan mı yoksa kireçten mi olduğunu belirlemek için aynı çözeltilerde pH ayarlamalar NaOH ile yapılarak da giderimler incelenmiştir.

Diğer çalışmalardan farklı olarak bakır ve kurşunun ayrı ayrı ve birlikte buldukları çözeltilerdeki metal giderim davranışları incelenmiştir. Ayrıca diğer çalışmalarda ağır metal giderimleri için pH 8-12 değerleri arasında yükseltirken bizim çalışmamızda çözeltiler doğal sular dikkate alınarak daha düşük pH değerleri olan 6-8 arasındaki değerlere yükseltılarak koagülasyon işlemi uygulanmıştır.

## **2. TEMEL BİLGİLER**

### **2.1. Sularda Ağır Metal Kirliliği**

Ağır metaller doğada her yerde bulunmaktadır ve toplumlar geliştikçe metal kirliliği ilerleyen teknolojiler ile birlikte daha da artmaktadır (Kang et al., 2003). Ağır metallerin yüzeysel ve yeraltı sularındaki kirlilik problemleri dikkate alındığında; kadmiyum, bakır, krom, kurşun, çinko zehirlilikleri ve kalıcı özellikleri açısından ilk sıralarda yer almaktadır (Bojic et al., 2009). Zehirlilikleri açısından ağır metallerin suda yüksek oranda bulunması suyun kullanımını engellemektedir (Aziz et al., 2008). Ağır metallerin insanlara ve çevreye toksik olmalarının bilinmesi ile ağır metallerin sulardan arıtılması önemli bir proses olmaya başlamıştır (Plattes et al., 2007).

#### **2.1.1. Bakır**

##### **2.1.1.1. Bakırın Tanımı**

Bakır; kayalarda, toprakta, suda ve düşük seviye havada doğal olarak bulunan kırmızımsı bir metaldir (ATSDR, 2004). Bakır yumuşak, dövülebilir ve çok iyi bir iletici olan bir metaldir (Lenntech, 2009a). Bakır ayrıca tüm bitkilerde ve hayvanlarda da doğal olarak bulunmaktadır. Düşük seviyelerde bakır tüm yaşayan organizmalar için gerekli bir elementtir (ATSDR, 2004). Bakırın birçok bileşiği bulunmaktadır; suda farklı pH'larda oluşturduğu bileşiklerden bazıları  $Cu_2O$ ,  $CuO$ ,  $Cu_2O_3$ ,  $CuOH$  ve  $Cu(OH)_2$ 'dir (Pourbaix, 1973).

##### **2.1.1.2. Bakırın Fiziksel-Kimyasal Özellikleri**

Bakır periyodik tablonun 29'uncu elementidir. Bakırın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 2.1'de verilmiştir (Lenntech, 2009a). Bakır genellikle suda  $Cu(II)$  şeklinde bulunur.  $Cu(II)$  bileşiklerin ve komplekslerin çoğu mavi ya da yeşil renktedir.  $Cu(II)$  çevreye yayıldığında, tipik olarak suda, toprak ve sedimentte bulunan organik ve inorganik maddelere bağlanır (ATSDR, 2004).

Çizelge 2.1. Bakırın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (Lenntech, 2009a).

Özellik	Bakır
Renk	Metalik kahverengi
Atom Numarası	29
Atom Ağırlık (g/mol)	63,546
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	8,96
Erime Noktası (°C)	1083
Kaynama Noktası (°C)	2595
Elektronegatiflik	1.9

### 2.1.1.3. Su Fazında Bakır Kimyası

Metaller suda farklı pH'lerde ortamın asidik ya da bazik olmasına bağlı olarak farklı formlarda bulunurlar. Bakırın farklı pH'larda sulu çözeltilerde oluşturduğu reaksiyonlar Eşitlik 1-4'te gösterilmiştir.



pH 4-6 arasındaki koşullarda bakır kırmızı oksit ile kaplanmakta ve Cu<sub>2</sub>O formundadır. pH 6'nın üzerinde ise bakır siyah oksit ile kaplanarak CuO formundadır. pH'nin daha yüksek değerlere çıkması ile mavi hidroksit Cu(OH)<sub>2</sub> oluşmakta ve çökelmektedir (Pourbaix, 1973).

#### **2.1.1.4. Kullanım Alanları ve Kirletici Kaynakları**

Bakırın doğal kirletici kaynakları rüzgar yolu ile taşınması, bitkilerin çürümesi, orman yangınları ve deniz aerosoludur. Maden, metal üretimi, tahta üretimi ve fosfatlı gübre üretimi ise insanların sebep olduğu kirletici kaynaklarıdır (Lenntech, 2009a).

Bakır, çevreye bakır madenlerinden, bakır kullanan endüstrilerden ve tarımsal faaliyetlerden karışmaktadır (ATSDR, 2004). Bakır yaygın olarak madenlerden çıkarılmakta ve işlenerek tel, levha, boru ve diğer metal ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. Dünyada bakır üretimi yılda 12 milyon ton olmakta ve işletilebilir rezervler ise 300 milyon ton kalmıştır (Lenntech, 2009a).

#### **2.1.1.5. Sağlık ve Çevresel Etkileri**

Bakır içeren su ve yiyeceklerin tüketilmesi veya havadaki bakırın solunması ile bakır insan vücuduna girmektedir. Bakır hızlıca kan sistemine geçmekte ve tüm vücutta yayılmaktadır (Bojic et al., 2009).

Kısa vadede bakır gastrointestinal hastalıklara, uzun vadede ise baş ağrısına, karın ağrısına, bitkinliğe ve kusmaya neden olmaktadır. Bakır yüksek dozda alındığı zaman ise ciğer ve böbreğin zarar görmesine sebep olur. Ayrıca kronik bakır zehirlenmesi Wilson hastalığı ile sonuçlanmaktadır (Bojic et al., 2009).

Bakır toprağa ulaştığı zaman güçlüce organik madde ve minerallere yapışır. Bakır çevrede parçalanmaz çünkü toprakta bulunduğu zaman bitki ve hayvanlarda birikir. Bakırın bulunduğu topraklarda çok az çeşitte bitki yetişebilmektedir. Bakırın mikroorganizmalarda birikiminin yanı sıra bakır ile kirlenmiş çiftlik arazilerinin hayvanlar üzerinde olumsuz etkileri görülmüştür (Lenntech, 2009a).

### **2.1.2. Kurşun**

#### **2.1.2.1. Kurşunun Tanımı**

Kurşun Dünya'nın katmanında doğal olarak bulunan ağır, düşük erime noktasına sahip, mavimsi-gri parlak bir metaldir (ATSDR, 2007). Kurşun; yumuşak, çok kolay dövülüp biçimlendirilebilen ve zayıf elektrik iletkenliğine sahip bir ağır metaldir. Kurşunun en çok rastlanan cevherleri; PbS, PbCO<sub>3</sub> ve PbSO<sub>4</sub>'dür (Lenntech, 2009b).



### 2.1.2.2. Kurşunun Fiziksel-Kimyasal Özellikleri

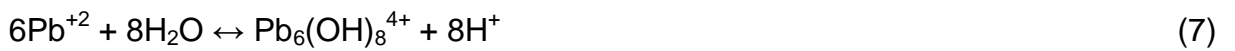
Doğal olarak doğada kurşun metal iyonu olarak bulunmamakta fakat bileşikler halinde bulunmaktadır. Kurşun genellikle birleşenlerinde 4+ yerine 2+ değerlik alır. Kurşunun; suda oluşturduğu bileşiklerden bazıları; PbO, PbO<sub>2</sub>, Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Pb(OH)<sub>2</sub> ve PbCO<sub>3</sub> or Pb(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub><sup>2+</sup>'dir (Pourbaix,1973). Kurşunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Kurşunun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (Lenntech, 2009b).

Özellik	Kurşun
Renk	Mavimsi-Beyaz
Atom Numarası	82
Atom Ağırlık (g/mol)	207,2
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	11,34
Erime Noktası (°C)	327
Kaynama Noktası (°C)	1755
Elektronegatiflik	1,8

### 2.1.2.3. Su Fazında Kurşun Kimyası

Metaller suda farklı pH'larda ortamın asidik ya da bazik olmasına bağlı olarak farklı formlarda bulunurlar. Kurşunun farklı pH'larda sulu çözeltilerde oluşturduğu reaksiyonlar Eşitlik 5, 6 ve 7'de gösterilmiştir.



pH 6'nın altındaki koşullarda baskın olarak kurşun içeren tür  $Pb^{2+}$ 'dir. Yüksek pH koşullarında ise polimerik hidrokomplesler olan  $Pb_4(OH)_4^{4+}$ ,  $Pb_6(OH)_8^{4+}$  ve  $Pb_3(OH)_4^{4+}$  baskın halde bulunmaktadır (Snoeyink et al., 1980).

#### **2.1.2.4. Kullanım Alanları ve Kirletici Kaynakları**

Dünyada kurşun üretimi yılda 3 milyon tondur ve işletilebilir rezervler ise 85 milyon ton kalmıştır (Lenntech, 2009b). Endüstride kullanılan kurşun büyük bir kısmı madenlerden çıkarılmakta ya da hurda metaller ve akülerin geri dönüşümünden elde edilmektedir. Kurşun ve kurşun alaşımları genel olarak borularda, bataryalarda, ağırlıklarda, mermi ve cephanelerde, kablo kaplamalarında ve bilgisayar-televizyon ekranlarında bizi koruyan camlarda kullanılmaktadır. Kurşun en çok araba ve diğer araçların kurşun-asit akülerinde kullanılmaktadır (ATSDR, 2007).

Kurşun doğada doğal olarak bulunsa da, büyük miktardaki kurşun konsantrasyonları insani faaliyetler sonucunda doğaya yayılmaktadır (Lenntech, 2009b).

#### **2.1.2.5. Sağlık ve Çevresel Etkileri**

Kurşun insan sağlığına en çok zarar verici özelliği olan dört metalden biridir. İnsan vücuduna %65 tüketilen kurşun içerikli yiyeceklerle, %20 içilen ve temas edilen kurşun içeren su ile, %15 ise havadaki kurşunun solunması ile girmektedir. Kurşun boruların korozyonu ile içme suyuna karışmaktadır (Lenntech, 2009b).

Kurşun; bebeklerde ve çocuklarda fiziksel ve zihinsel gelişmeyi engellemekte, yetişkinlerde ise böbrek problemlerine ve yüksek kan basıncına sebep olmaktadır. Kurşun ayrıca sinir sisteminde bozukluklara, düşüklere, beyinde zarara sebep olmaktadır (Sawyer et al., 2003).

Benzinin yanmasının yanı sıra yakıtların yanması, endüstriyel faaliyetler ve katı atıkların yakılması gibi diğer insan faaliyetleri sonucunda kurşun suya ve topraklara geçmektedir. Kurşun parçalanmadığından dolayı diğer farklı bileşikler oluşturarak farklı formlara dönüşmektedir. Kurşunun suda çözülmüş olarak bulunduğu bazı bileşikler;  $PbCO_3$  or  $Pb(CO_3)_2^{2-}$ 'dir (Lenntech, 2009b). Kurşun sucul canlıların vücutlarında birikmektedir ve bu canlılar kurşun zehirlenmesinin etkilerini zamanla yaşamaktadırlar. Kurşun sadece bireysel organizmaların içinde birikmekle kalmaz aynı zamanda besin zincirine de girer (ATSDR, 2007).

## 2.2. Sularda Bulanıklık

Küçük partiküller suda askıda kaldıkları zaman güneş ışınlarının suyun içerisine geçişini engelleyip yansıtma ve absorbe etme eğilimi gösterirler. Bu da suya bulutlu veya bulanık bir görüntü verir ve bu etkiye bulanıklık denir. Kil, kum, organik maddeler ve mikroskobik organizmalar bulanıklık yaratan maddelerin bazılarıdır. İçme suyunda bulanıklık çok önemli bir fiziksel parametredir. Suda askıda kalan maddeler zararlı mikroorganizmaların saklanmasına yardım ederler ve artımını zorlaştırırlar (Nathanson, 1997). Yüzeysel sularda bulanıklık oluşmasına sebep olan olaylar;

- Alg büyümesi,
- Atık deşarji,
- Bitki çürümesi reaksiyonlarından oluşan organik birleşiklerin suya karışması,
- Sedimandaki çamurun karışımla çözülerek su yüzeyine gelmesi,
- Erozyon ile suya toprak karışımıdır .

Bu gibi olaylar sonucunda suda bulanıklık oluşur. Suda bulanıklık oluştuğu zaman suda yaşanan problemlerden bazıları şunlardır (Lenntech, 2009b);

- Estetik açıdan bulanık olarak gözükken suyu kimse tüketmek istememektedir.
- Bulanıklık içeren sularda patojenler için yemek ve koruma sağlandığı için bu patojenlerin yayılması ve insanlara hastalık bulaştırması söz konusudur.
- Sucul yaşam için gereken sıcaklık değeri yüksek bulanıklık içeren sularda suya güneş ışınlarının girememesi sebebi ile daha ılık olmaktadır. Su daha ılık olduğundan dolayı çözünmüş oksijen miktarı azalmaktadır. Bazı organizmaların yaşaması için gereken sıcaklık ve oksijen miktarı sağlanamamaktadır.

Sularda bulanıklık ölçümü için türbidimetre ve secchi diskleri kullanılmaktadır. Secchi diski arazi ölçümlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Türbidimetreler ise numunelere bir ışık kaynağı tutarak çözeltilerden dağılan ışığı elektronik olarak hesaplamakta ve bilinen standart çözeltilere göre karşılaştırma yapıp NTU olarak bize bulanıklık konsantrasyonunu vermektedir (Nathanson, 1997).

### 2.3. İçme suyu Standartları

İçme ve kullanma suları için herhangi bir kimyasal maddeye ait maksimum izin verilen değer belirlenirken dikkate alınan temel husus, belirlenen dozda ve daha düşük dozlarda herhangi bir sağlık sorunu meydana gelmemesidir. Yurtdışında; Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US EPA) ve Avrupa Birliği (EU) ağır metaller ve sudaki bulanıklık değerleri ile ilgili olarak içme suyu kriterleri yayınlamıştır. Ülkemizde ise TSE 266 ve Sağlık Bakanlığı'nın yayınladığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te açıklanan parametreler ile ilgili standartlar uygulanmaktadır. Tüm kuruluşlar tarafından belirlenen ağır metal ve bulanıklık standartları Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Bulanıklık ve Ağır Metal Standartları (WHO, 1993; US EPA, 2001; EU, 1998; Sağlık Bakanlığı, 2005; TSE 266, 1997)

Standartlar	WHO (1993)	USEPA (2001)	EU (1998)	Sağlık Bakanlığı (2005)	TSE 266 (1997)
Bakır (mg/L)	2	1,3	2	2	2
Kurşun (µg/L)	10	15	10	25	25
Bulanıklık (NTU)	-	1	1	1	1

## 2.4. Koagülasyon- Yumaklaştırma

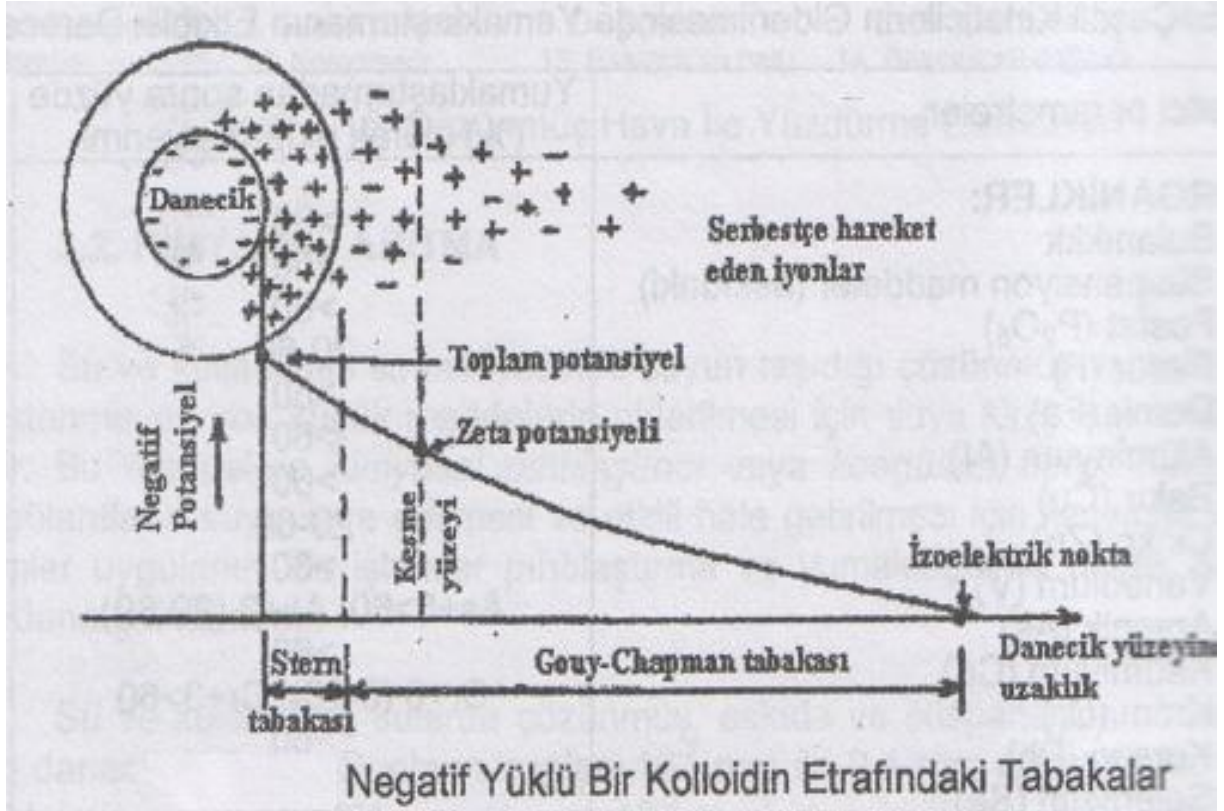
Sudaki koloidal partiküller oldukça küçük boyutta (1-200 nm) olup Brownian hareket kanununa göre hareket ederler. Bu hareketin enerjisi partiküllerin yerçekimi kuvveti karşısında çökmesine engel olmaya yeterlidir. Böylece partiküller uzun süre askıda kalabilirler. Koagülasyon işlemi ile öncelikle partiküllerin askıda kalmasını sağlayan kararlı yapıları bozular, aralarındaki itme kuvvetleri azaltılarak van-Der Waals kuvvetlerinin etkisi fazlalaştırılır (Viessman et al., 1985). Daha sonra partikülleri bir araya getirerek çökelebilecek boyutlara getirmek için yumaklaştırma işlemi uygulanır (Kurniawan et al., 2006).

Sularda katı maddeler üç halde bulunurlar. Bunlar;

*Çözünmüş halde bulunan maddeler:* çapları 0,001 µm den küçük parçacıklardır ve sularda atom ve moleküller halinde bulunurlar. van der waals güçleri ile katı fazda bir arada dururlar. Örnek olarak  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{1+}$ ,  $\text{Cl}^{1-}$ , NaCl gibi maddeler.

*Kolloidal maddeler:* bu tür maddelerin çapları 0,001 µm -1 µm arasında değişirler. Ultramikroskop ve elektron mikroskopu ile görülebilirler. Bu maddeler çok yavaş çökelirler. Örnek olarak silis, virüs gibi maddeler kolloidlerdir.

*Askıda katı maddeler:* bu tür maddelerin çapları 1 µm den büyüktür. Çıplak gözle görülebilecek kadar büyüktürler ve daha küçük maddelere nazaran daha kolay çökelirler. Örnek olarak bakteriler ve kum gibi maddeler.



Şekil 2.1. Negatif yüklü bir kolloidin etrafındaki tabakalar (Eroğlu et al., 2008).

Yüzeysel sularda bulunan partiküller genellikle negatif yüklüdürler ve koagülasyon (partiküllerin kararsız hale gelmesi) suya yüksek değerlikli katyonların (koagülant) ilavesi ile gerçekleşir. Negatif yüklü partikül ile pozitif yüklü koagülant arasında van der Waals kuvvetleri baskın gelip birbirini çekerek bağlantı gerçekleşir. Bu süreç hızlı ve kısa süreli karıştırmanın olduğu dönemdir (Metcalf and Eddy., 2003).

Koagülasyon işleminde Fe, Al ve Ca tuzları koagülant olarak kullanılmaktadırlar. Kireç ve kalsiyum karbonat koagülant olarak Al ve Fe tuzlarından daha ekonomik ve diğer tuzlardan çok daha az toksik olduklarından dolayı çevresel açıdan daha uygundurlar. Hızlı karıştırmayı takiben nispeten daha uzun süre yavaş karıştırma uygulanarak, kararlılıkları bozulmuş partiküller yumaklar oluşturmak suretiyle çökebilecek özelliklere kavuşurlar (Lee et al., 2007).

Zeta potansiyeli taneciklerin birbirlerini itme ve çekme değerlerini göstermektedir ve optimum koagülasyon, zeta potansiyelinin sıfır olduğu noktada oluşmaya başlar; bu nokta izoelektrik noktası olarak tanımlanır (Metcalf and Eddy, 2003).

Koagülasyon-Yumaklaştırma sisteminin verimliliği işlem sonunda çökelen ve süzülen kısma bağlıdır. Koagülasyonda bulanık giderimini etkileyen birçok özellik vardır. Bunlar suyun kimyasal özelliklerindeki ve koagülasyonun uygulanmasındaki farklı yöntemlerdir. Koagülasyonun verimli olması;

- Kullanılan koagülant çeşidine,
- Kullanılan koagülant dozuna,
- Suyun pH'ına,
- Suyun sıcaklığına,
- Suyun iyonik karakterine,
- Sudaki kolloidal kirleticilerin doğasına ve konsantrasyonuna
- Koagülant dışında eklenen diğer yardımcı koagülantların çeşidi ve dozuna,
- Kimyasal ekleme sırası ve dozlamalar arasındaki zamana,
- Hızlı karıştırmada karıştırıcının hızına,
- Hızlı karıştırıcı türüne,
- Yumaklaştırma işleminde uygulanan hıza,
- Yumaklaştırma kalma süresine ve kullanılan karıştırıcı türüne bağlıdır (Viessman et al., 1985).

İyileştirilmiş çamur çökmesi, susuzlaştırılma özellikleri, bakterileri etkisiz hale getirme yeteneği ve çamur stabilitesi kireç bazlı koagülasyonun başlıca avantajlarından. Avantajlarına rağmen koagülasyon-yumaklaştırmanın kimyasal tüketiminden dolayı yüksek işletim masrafı olması gibi dezavantajı vardır (Kurniawan et al., 2006). Çizelge 2.4.'te çeşitli koagülantların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Çeşitli koagülantların özellikleri (Metcalf ve Eddy, 2003).

Kimyasal	Formül	Molekül Ağırlık (g/mol)	Eşdeğer Ağırlık (g/mol)	Kullanılabilirlik	
				Form	Yüzde
Alüminyum sülfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	666.4	114	Sıvı	8.5 ( $Al_2O_3$ )
				Topak	17 ( $Al_2O_3$ )
Alüminyum klorür	$AlCl_3$	133.3	44	Sıvı	
Kireç	$Ca(OH)_2$	56.1 CaO olarak	40	Topak	63-73 CaO
				Toz	85-99
				Çamur	15-20
Demir klorür	$FeCl_3$	162.2	91	Sıvı	20 (Fe)
				Topak	20 (Fe)

## 2.5. Ağır Metallerin Sudan Arıtılma Yöntemleri

Ağır metallerle kirlenmiş suların arıtılması için farklı arıtma teknikleri araştırılmaktadır. Bu araştırmalar koagülasyon-yumaklaştırma, kimyasal çöktürme, adsorbsiyon, iyon değişimi ve ters ozmoz işlemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Farklı yöntemler sudan ağır metalleri gidermek için uygulansa da uygulamada hepsinin kendine göre avantajları ve dezavantajları vardır (Kurniawan et al., 2006). Çizelge 2.5.'de ağır metallerle kirlenmiş suyun arıtılmasında kullanılan yöntemler avantajları ve dezavantajları ile birlikte verilmiştir.



Çizelge 2.5. Ağır metal arıtma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları (Kurniawan et al., 2006).

Aritma Yöntemi	Aritma Hedefi	Avantajları	Dezavantajları
Kimyasal Çökeltme	Ağır metaller, iki değerlikli metaller	Düşük sermaye maliyeti, kolay işletim	Çamur üretimi, çamur giderimi için ekstra işletim maliyeti
Koagülasyon-Yumaklaştırma	Ağır metaller, askıda katı maddeler	AKM'in çökmesi için daha az süre, gelişmiş çamur çökmesi	Çamur üretimi, çamur giderimi için ekstra işletim maliyeti
Çözünmüş Hava Flotasyonu	Ağır metaller, askıda katı maddeler	Düşük maliyet, daha kısa hidrolik bekleme süresi	Ağır metallerin arıtılma verimi arttırmak için sonra başka arıtma yapılması gerekli
İyon Değişimi	Çözünmüş bileşikler, kationlar/anyonlar	Çamur oluşumu olmaması, daha az zaman harcanması	Ağır metal arıtımı için tüm iyon değişimi resinleri uygun değildir, yüksek sermaye ihtiyacı
Ultrafiltrasyon	Yüksek molekül ağırlıktaki bileşikler (1000-10000 Da)	Daha az alan ihtiyacı	Yüksek işletim maliyeti, membranın bozulmasına eğilimli
Nanofiltrasyon	Sülfat tuzları ve Ca(II), Mg(II) gibi sertlik yapan iyonlar	Ters ozmozdan daha düşük basınç (7-30 bar)	Pahalı, membranın bozulmasına eğilimli
Ters ozmoz	Organik ve inorganik bileşikler	Yüksek sıcaklığa dayanma	Yüksek basınç (20-100 bar) ihtiyacından dolayı fazla miktarda enerji harcanması, membranın bozulmasına elverişli

Çözünmüş hava flotasyonunda yapılan arıtım yeterli olmadığından dolayı tercih edilmemektedir. İyon değişimi, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmoz gibi tekniklerinde yüksek sermaye ya da işletim maliyetleri vardır. Bu yüzden diğer yöntemler yerine koagülasyon-yumaklaştırma ve kimyasal çöktürme basit ekipmanları, kolay kullanımı, yüksek konsantrasyonda ağır metal içeren suların büyük hacimlerde arıtma kapasitesi ve ucuz maliyeti açısından yaygın olarak uygulanmaktadır (Li et al., 2003; Aziz et al., 2008).

Kimyasal çöktürme ile ağır metallerin arıtılması yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. pH'ın bazik koşullara ayarlanmasından sonra çözünmüş metal iyonları bazik ortamda kimyasal reaksiyon sonucunda çözünmemiş katı faza dönüştürülür. Çözeltide çökeltilen metal genellikle hidroksit formunda çöker.

Bazik ortamda ağır metallerin giderilmesinin kavramsal mekanizması eşitlik (8)'de gösterilmiştir.



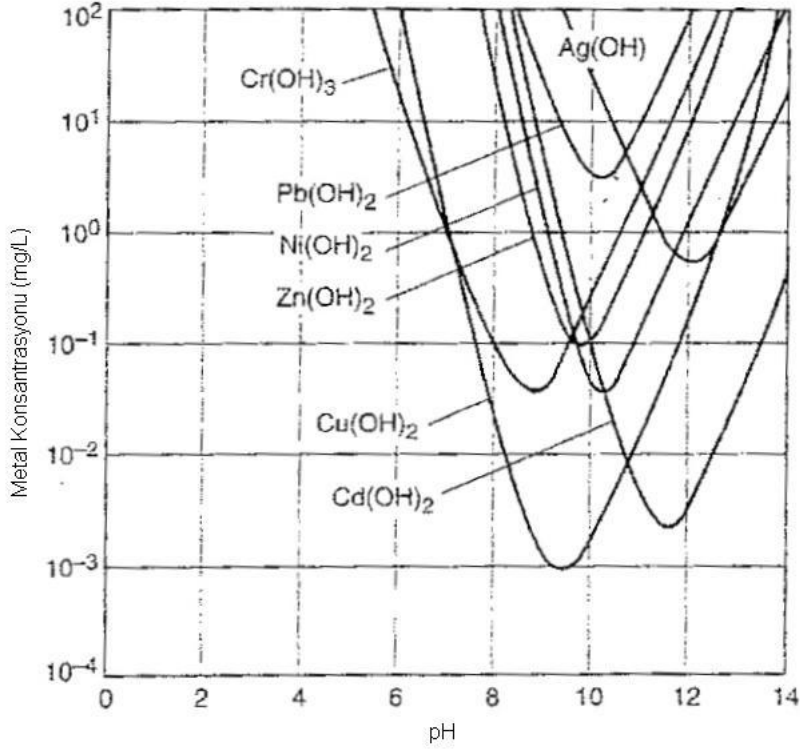
Bu eşitlikte M ve OH<sup>-</sup>; çözünmüş metal iyonunu ve çöktürücüyü temsil ederken M(OH)<sub>2</sub> ise çözünmemiş metal hidroksiti temsil etmektedir (Kurniawan et al., 2006).

Kimyasal çöktürme ile ağır metal gideriminde pH'ın bazik koşullara ayarlanması giderimi geliştiren en önemli parametredir. Çoğu ülkede kolayca bulunabilmesi açısından kalsiyum hidroksit ve sodyum hidroksit en yaygın olarak kullanılan çöktürücülerdir (Kurniawan et al., 2006). Çökelticiler genellikle hidroksit (OH<sup>-</sup>) içermektedir. Arsenik, kadmiyum, bakır, civa ve kurşun gibi birçok metal hidroksit olarak çökmektedir. Serbest bakır ve kurşun iyonlarının hidroksitli ortamlardaki reaksiyonları sırası ile eşitlikler (9) ve (10)'te verilmiştir (Metcalf ve Eddy, 2003).



Her metalin oluşturduğu metal hidroksit farklı pH'larda farklı konsantrasyonlarda bulunmaktadır. Şekil 2.2.'de pH değerlerine karşı metallerin suda çözünürlükleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, çözünürlükler pH değerlerine göre değişmekte ve yükselen pH ile azalarak en az seviyeye ulaşmaktadır. pH'ın bu seviyeden sonra

daha fazla yükselmesi genel olarak metal çözünürlüklerini tekrardan arttırmıştır. Kimyasal çöktürme işlemi için çözünürlüğün en düşük olduğu pH değeri en uygun değer olarak yorumlanmıştır.



Şekil 2.2. Metallerin hidroksit olarak çökmesi sonucunda suda kalan metal konsantrasyonlarının pH'la değişimi (Metcalf ve Eddy, 2003).

## 2.6. Jar test

Koagülasyon için kullanılacak olan koagülantın seçimi ve dozunun tespiti için deneysel jar testler kullanılmaktadır. Jar test en az 1 litre hacme sahip olan aynı büyüklük ve şekildeki cam beherler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Genelde 6 tane cam beher Jar test cihazı ile birlikte kullanılmaktadır. Her beher 1 litre çizgisine kadar önceden saptanan bulanıklık, pH ve alkaliniteye sahip su ile doldurulur. Bir beher kontrol amaçlı kullanılırken; diğer 5 behere farklı dozajlarda koagülantlar ve farklı pH ayarlamaları yapılarak en düşük kalan bulanıklık konsantrasyonu elde edilir. Kimyasal eklenmesinden sonra su; 1 dakika boyunca kimyasalın suda tamamen dağılması için 100-200 rpm'de karıştırılır. Daha sonra yumakların oluşmasına yardım etmek için beherler 15-20 dakika boyunca 20-40 rpm yavaş karıştırma uygulanır (Kan

et al., 2002). Son olarak da 30 dakika çökelme işlemi için beherler karıştırılmadan bekletilirler. Kimyasal ve fiziksel işlemlerden sonra çözeltilerde kalan bulanıklığın belirlenmesi için belirli miktarlarda örnekler alınarak ölçümler yapılır (Viessman ve Hammer, 1985).

## 2.7. Kireç

Kireç genel anlamda; sönmemiş kireç (CaO), sönmüş kireç (Ca(OH)<sub>2</sub>) ve dolamitik kireci kapsamaktadır. Fakat su arıtımında en yaygın olarak kullanılan iki formu CaO ve Ca(OH)<sub>2</sub>'dir. Kireç birçok sebepten dolayı su arıtımında kullanılmaktadır. Kireç maliyet ve işletme masrafları dikkate alındığı zaman diğer çöktürücülerden daha ucuzdur. Ayrıca kireç; birçok metal ve bakteri için çöktürücü olarak, askıda katı maddeler ve kolloidler içinse koagülant olarak kullanılmaktadır. Bulanıklık yaratan çökelmeyen katı maddelerin giderilmesinde kireç ile % 75-91 oranında verim sağlanmaktadır (Semerjian et al., 2003). Ayrıca suda çözülmüş halde bulunan metal iyonları kireç kullanılarak çözünmemiş metal çökeleklere dönüştürülmektedir (Aziz et al., 2008). Kireç eklenmesi ile asidik sular bazik koşullara geçmektedir. pH'ın yükselmesi ile bazik koşullarda metaller hidroksil formlarına geçerler. Metallerin hidroksitleri çözünmemiş olmakta ve bunun sonucunda metallerin çökmesi sağlanmaktadır. Kirecin suyu nötralize etme kapasitesi ve özellikleri diğer nötralize edici kimyasallar ile karşılaştırılarak çizelge 2.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. Kirecin diğer nötralize edici kimyasallarla karşılaştırılması (NLA, 2000).

Kimyasal	Kireç (CaO,(CaOH) <sub>2</sub> )	Sodyum Karbonat	Sodyum hidroksit	Magnezyum hidroksit
<b><i>Kimyasalın formu</i></b>	Katı - CaO Toz-Ca(OH) <sub>2</sub> Çamur-35%-Ca(OH) <sub>2</sub>	Toz-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Çözelti 15%-Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Çözelti 50%-NaOH	Çamur- 58%-Mg(OH) <sub>2</sub>
Alkalinite gereksinimi; 1 ton H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CaO için;			

İçin	562 kg	953 kg	739 kg	540 kg
Kimyasalın 1 tonluk maliyeti	CaO - \$60 Ca(OH) <sub>2</sub> - \$80 Ca(OH) <sub>2</sub> - \$100 Fiyat sabit.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - \$80 Fiyat değişken.	NaOH- \$280 Fiyat değişken.	Mg(OH) <sub>2</sub> - \$300 Fiyat artışta.
1 ton H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> nötralize etmek için gereken kimyasal maliyeti	CaO - \$37 Ca(OH) <sub>2</sub> - \$66 Ca(OH) <sub>2</sub> - \$82	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - \$86	NaOH- \$228	Mg(OH) <sub>2</sub> - \$179
25°C'deki maksimum pH	12.45	>11	14	10.6
Çamurun özellikleri	Ağır, düşük hacim, ağır metal içerse bile kolay işletim	Yüksek hacim, ağır metal içerdiğinde jele benzeyen yapıda	Yüksek hacim, ağır metal içerdiğinde jele benzeyen yapıda	Ağır, düşük hacim
Tuzlar	Çözünmemiş kalsiyum metali, hidroksil tuzları	Çözünmüş sodyum tuzları	Çözünmüş sodyum tuzları	Çözünmüş magnezyum metali, hidroksil tuzları
Toplam çözünmüş madde	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek

Çizelge 2.6.'da kireç, sodyum karbonatı sodyum hidroksit ve magnezyum hidroksit ile karşılaştırılmıştır. 1 ton H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> nötralize etmek için gereken kimyasal maliyeti en düşük kireç çeşitlerinde gözlenmektedir. İşlemler sonucunda çözümlerde kalan

toplam çözünmüş madde miktarı da diğer nötrale edici kimyasallarda yüksekken kireçte düşüktür. Çamur oluşumu dikkate alındığında ise elde edilen çamur miktarı düşüktür. Tüm özellikler incelendiğinde en avantajlı nötrale edici kimyasal kireç olmaktadır (NLA, 2000).

## **2.8. Koagülasyon-Yumaklaştırma ile Metal Giderim Çalışmaları**

Koagülasyon ile ağır metal giderimi konusunda farklı koagülantlar kullanılarak bazı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda demir, alüminyum ve kalsiyum tuzları koagülant olarak kullanılmış ve farklı pH, farklı dozlamalarda elde edilen ağır metal giderimleri incelenmiştir. Bu bölümde bu çalışmalar özetlenmiştir.

Ağır metallerle kirlenmiş sulardan bakır arıtımı demir/kireçtaşı kullanılarak laboratuvar ortamında Jar testlerle denenmiştir. Sadece FeCl<sub>3</sub> kullanıldığı deneylerde; optimum FeCl<sub>3</sub> dozu %99.5 bakır giderimi sağlayarak 50 mg/L (Fe(III)) ve pH 7.5 olarak bulunmuştur. Sadece işlenmemiş kireçtaşı kullanılarak pH ayarlama yapıldığı koşullarda ise pH 9'un üzerinde bakır giderimi 0.04mg/L'nin altına düşerek %96 giderim verimi sağlamaktadır (Kang et al., 2003).

Kireçtaşı ve sodyum hidroksit gibi bazı kimyasallar kullanılarak bakır ve Cr iyonlarının arıtımının incelendiği diğer bir çalışmada; metal içeren çözeltilerin pH'ları bu kimyasallar kullanılarak pH 10-12.5 değerlerine çıkartılmış ve metal giderimleri incelenmiştir. Cr(III) gideriminde en verimli giderim kireçtaşı kullanılarak pH'ın 8.7'ye ayarlanması ve karıştırılma sonrasında 2 saatlik çökeltme sonucunda elde edilmiştir. Başlangıç Cr(III) konsantrasyonu 30 ppm'den 0.01 ppm'e düşmüştür. Bakır gideriminde ise kireçtaşı ile pH 12'ye ayarlanması ve 2 saatlik giderim sonucunda 48 ppm'den 0.36 ppm'e düşüş gözlenmiştir. Kirecin sodyum hidroksite göre daha hızlı çökeltme sağladığı görülmüştür (Mirbagheri and Hosseini, 2004).

Farklı bir çalışmada değişik dozajlarda kireçtaşı kullanılarak pH 8.5-11 arasında farklı değerlere ayarlanmış ve giderilen askıda katı madde, çinko, kadmiyum, mangan ve magnezyum giderimleri incelenmiştir. Bu çalışmada pH kireçtaşı ile 10.5'e ayarlandığı zaman Zn 450 ppm'den 0.6 ppm'e, Cd 150 ppm'den 0.5 ppm'e, Mn 1085 ppm'den 1.3 ppm'e, Mg ise 3154 ppm'den 23 ppm'e düşmektedir (Charerntanyarak, 1999).

Her biri 2 mg/L Cd, Pb, Zn, Ni, Cu ve Cr içeren ağır metal çözeltileri farklı partikül içeren ortamlarda karıştırılmışlardır. Kireçtaşı olan ortamda pH 8.5'de çoğu metalin %90'ı arıtılmıştır (Aziz et al., 2008).

Yağmur suyu ve atıksuyun birleşik kanalizasyon sisteminde taşındığı sularda yapılan bir çalışmada ise demir klorür ve alüminyum klorür koagülant olarak kullanılmış, bulanıklık ve metal giderimi incelenmiştir. Bulanıklık gideriminde iki koagülant ile de verimli giderim elde edilmiştir, fakat daha düşük optimum dozajı ve yüksek restabilizasyonu alüminyum klorür kullanıldığında elde edilmiştir. Başlangıç bulanıklık konsantrasyonu yaklaşık 145 NTU olan çözeltilerden işlem sonunda 5 NTU kalarak %97'lik bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Cu, Zn, Pb ve Cr giderimleri birbirlerine benzemeyen değişik davranışlar göstermişlerdir. Optimum koagülant dozlarına yakın dozajlarda yüksek verimde metal giderimleri de elde edilmiştir (Samrani et al., 2008).

Bu çalışmalar koagülasyon işleminde kireç ve diğer koagülantlar ile ağır metal ve bulanıklık gideriminin başarılı olduğunu göstermiştir. Bizim çalışmamızda diğer çalışmalardan yola çıkılarak ağır metal ve bulanıklık içeren çözeltilere kireç ile koagülasyon işlemi uygulanmıştır. Farklı sentetik çözeltiler; farklı bulanıklık, pH, ağır metal konsantrasyonları olacak şekilde hazırlanmıştır.

Diğer çalışmalardan farklı olarak başlangıç bulanıklık konsantrasyonundaki değişimlerin ağır metal giderimine etkisi, bakır ve kurşunun ayrı ayrı ve birlikte buldukları çözeltilerdeki metal giderim davranışları incelenmiştir. Ayrıca diğer çalışmalarda ağır metal giderimleri için pH 8-12 değerleri arasında yükseltirken bizim çalışmamızda çözeltiler doğal sular dikkate alınarak daha düşük pH değerleri olan 6-8 arasındaki değerlere yükseltılarak koagülasyon işlemi uygulanmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Deneysel Yöntemler

Koagülasyon-Flokülasyon işlemi ile su kaynaklarından ağır metal ve bulanıklık giderimini araştırmak için laboratuvar ortamında jar testlerle çeşitli deneyler yapılmıştır. Sentetik çözeltiler farklı bulanıklık, pH, ağır metal konsantrasyonları olacak şekilde hazırlanmıştır. Koagülasyon ve flokülasyon işlemini gerçekleştirmek için Velp Scientifica marka JLT6 modelindeki Jar test cihazı kullanılmıştır. Jar test için 1 litrelik standart beherler kullanılmıştır. Bu beherlere 1 litre distile su eklendikten sonra farklı ağırlıklarda (0,5g - 1g) kil bulanıklık oluşturmak için tartılarak eklenmiştir. Çözeltilerde 30-55 NTU arasında bulanıklık değerleri elde edilmiştir. Ağır metal kirliliğini oluşturmak için stok bakır ve kurşun çözeltilerinden istenen konsantrasyonu (3-6-10 mg/L) sağlamak üzere, belirli hacimlerde ağır metaller beherlere eklenmiştir. Stok bakır çözeltisi; %99.9 saflıktaki bakır telden, 1 g alınarak önce 20 mL sonra 100 mL konsantre nitrik asitte çözülüp, 1000 mL'ye saf su ile tamamlanarak 1000 mg/L olacak şekilde standart metodlara uygun olarak hazırlanmıştır (APHA,1991). Stok kurşun çözeltisi ise 1,598 g kurşun nitratın 1000 mL saf suda çözülmesi ile 1000 mg/L olacak şekilde standart metodlara uygun olarak hazırlanmıştır (APHA,1991). Sentetik çözeltilerin pH değerleri 6 ile 8 arasında tutulmuştur.

Her sentetik çözeltinin hazırlanma aşamasında manyetik karıştırıcı kullanılarak çözeltinin homojen bir şekilde karışması sağlanmıştır. pH ayarlamaları kireç stok çözeltisi (50g/L), sodyum hidroksit ve sülfürik asit kullanılarak yapılmıştır. Çözeltiler istenen pH değerlerine ayarlandıktan sonra analiz edilecek olan parametrelerin başlangıç değerlerini tespit etmek amacı ile sabit noktalardan 10 mL'lik örnekler alınmıştır. Jar test cihazına hazırlanan beherler konulmuş ve çözeltiler öncelikle 1 dakika 150 rpm'de, daha sonra 20 dakika 30 rpm'de karıştırılmıştır. Karışım sonrası beherler çözeltiler 1 saat boyunca karıştırılmadan bekletilerek çökelme sağlanmıştır. Bu sürenin sonunda çözelti kaplarının benzer noktalarından örnekler alınarak fizikokimyasal reaksiyon etkisi incelenmiştir.



## 3.2. Çalışmada Kullanılan Kimyasallar

Çalışmada sentetik su çözeltilerinde bulanıklık oluşturmak için kullanılan kil Jeoloji Mühendisliği Bölümünden temin edilmiştir. Deneylede ağır metal kirliliğini sağlamak için standartlara uygun olarak; 1000 mg/L'lik stok bakır çözeltisi; %99.9 saflıktaki bakır telin 100 mL konsantre nitrik asit içerisinde çözülmesi ile; 1000 mg/Lstok kurşun çözeltisi ise SİGMA-ALDRİCH marka kurşun nitrat'ın saf suda çözülmesi ile hazırlanmıştır. Deneylede, sodyum hidroksit ve sülfürik asit sırası ile Merck ve Riedel markalarda seçilirken, ticari kireç koagülant kullanılmıştır. Süzme işlemleri ise ADVANTEC marka 0,45 µm membran filtreler kullanılarak yapılmıştır. Tüm sentetik çözeltilerin hazırlanmasında saf su; diğer çözeltilerin hazırlanmasında ise ultra saf su kullanılmıştır.

## 3.3. Analitik Metodlar

### 3.3.1. Ağır Metal Analizleri

Alevli Atomik Absorbsiyon cihazında ölçüm yapmak için %0,15 nitrik asit içeren blank çözeltisi ve farklı konsantrasyonlarda kalibrasyon standartları hazırlanmıştır. Cihazda ilk olarak hazırlanan standartlar kalibre edilmiş ve daha sonra numunelerin okutulması yapılmıştır.

Numuneler bulanıklık ölçümünden sonra 0.45 µm çaplı membran filtreden süzölmüş ve Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrometer Analyst 800 markalı Alevli Atomik Atomik Absorbsiyon cihazı kullanılarak koagölasyon-flokölasyon işlemi sonucunda çözeltide kalan ağır metal konsantrasyonları tespit edilmiştir. Kurşun ve bakır ölçümleri Atomik Absorbsiyon cihazında 3111B Direk Hava-Asetilen Alev Yöntemi ile oyuk katot lambası kullanılarak standartlara uygun olarak ölçölmüştür (APHA,1991). Analiz edilecek metallerin maksimumda absorblandığı dalga boyları belirlenerek ölçümler ilgili dalga boyunda yapılmıştır.

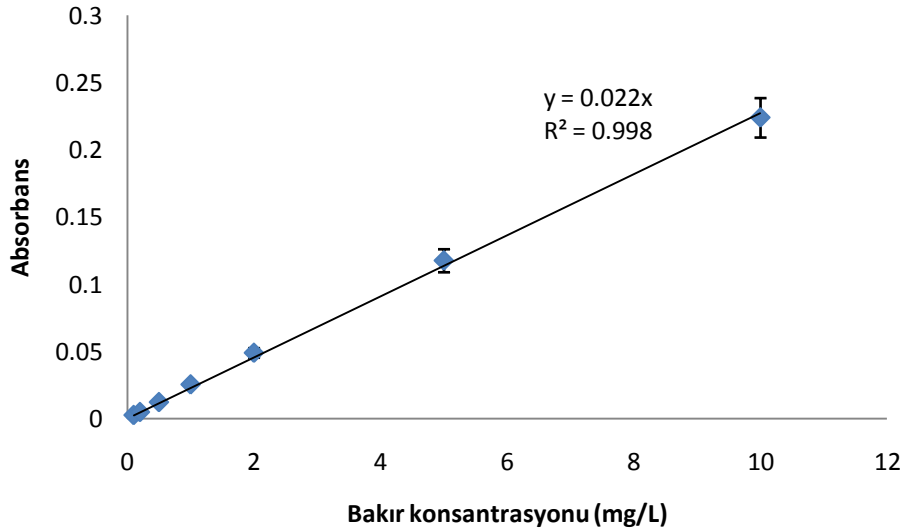
Kurşun ölçümleri için 283.3 nm dalgaboyu kullanılmış ve kalibrasyon standartları 0.2-10 mg/L Pb<sup>2+</sup> arasında hazırlanmıştır. Bakır ölçümleri için ise 324.7 nm dalgaboyu kullanılmış ve kalibrasyon standartları 0.1-10 mg/L Cu<sup>2+</sup> konsantrasyonları arasında hazırlanmıştır.

### 3.3.1.1.Bakır Analizleri

Atomik Absorbsiyon cihazında bakırın ölçülmesi için cihaz 324.7 nm dalgaboyundaki bakır metoduna ayarlanmıştır. Kalibrasyonda 0.1-10 mg/L Cu<sup>2+</sup> değerleri arasında 7 tane farklı kalibrasyon standardı hazırlanarak kullanılmıştır. Bakır analizleri için yapılan çeşitli kalibrasyonların sonuçlarında alınan absorbans değerleri Çizelge 3.1.'de standart sapmaları ile birlikte verilmiştir. Absorbans ölçümlerinde standart sapma değerleri 0.001-0.01 arasındadır.

Çizelge 3.1. Bakır kalibrasyon değerleri.

Standart Konsantrasyon (mg/L)	Absorbans
0,1	0,0026±0,0005
0,2	0,0048±0,0006
0,5	0,0122±0,0011
1	0,0253±0,0018
2	0,0488±0,0035
5	0,1174±0,0085
10	0,2237±0,0146



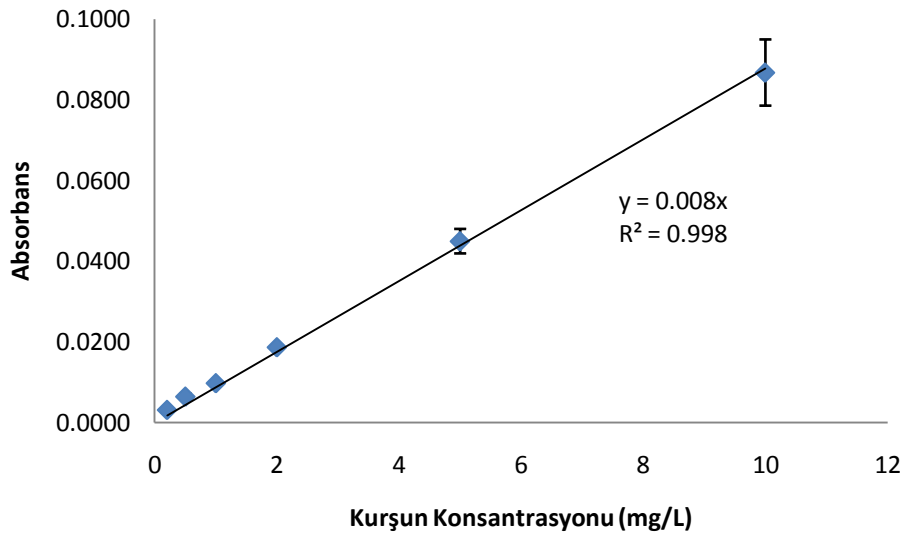
Şekil 3.1. Bakır kalibrasyon eğrisi.

### 3.3.1.2.Kurşun Analizleri

Atomik Absorbsiyon cihazında bakırın ölçülmesi için cihaz 283.3 nm dalgaboyundaki kurşun metoduna ayarlanmıştır. Kalibrasyonda 0.2-10 mg/L Pb<sup>2+</sup> değerleri arasında değişen 6 tane kalibrasyon standardı hazırlanarak kullanılmıştır. Kurşun analizleri için yapılan çeşitli kalibrasyonların sonuçlarında alınan absorbans değerleri Çizelge 3.2.'de standart sapmaları ile birlikte verilmiştir. Absorbans ölçümlerinde standart sapma değerleri 0.001-0.01 arasındadır.

Çizelge 3.2. Kurşun kalibrasyon değerleri.

Standart konsantrasyon (mg/L)	Absorbans
0,2	0,0031±0,0005
0,5	0,0064±0,0008
1	0,0098±0,0007
2	0,0187±0,0007
5	0,0449±0,0030
10	0,0867±0,0082



Şekil 3.2. Kurşun kalibrasyon eğrisi.

### **3.3.2. Bulanıklık Analizleri**

Bulanıklık analizleri “Jenway 6035 Turbidimeter” marka türbidimetre ile gerçekleştirilmiştir. Bulanıklık ölçümleri için cihaza ait olan çözeltiler ile iki farklı değerde (0.02-5 NTU) kalibrasyon yapılarak numunelerin ölçümleri alınmıştır. Yüksek bulanıklığa sahip olan numuneler 25 kat distile su ile seyreltilerek ölçülmüştür. Cihazın doğruluğu üretici firma tarafından  $\pm 0.5$  % olarak rapor edilmiştir.

### **3.3.3. pH Analizleri**

pH analizleri “ORION 3 Star series meter” marka pH metre ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz pH 4,7, 10 değerleri için oda sıcaklığında kalibre edilmiştir. Cihazın doğruluğu üretici firma tarafından  $\pm 0.002$  olarak rapor edilmiştir.

### **3.4. Deneysel Tekrarlanabilirlik**

Jar test ile koagülasyon-flokülasyon işlemi ve numunelerin analizleri sırasında deneysel hataların ve tekrarlanabilirliğin belirlenebilmesi amacıyla aynı özelliklere sahip çözeltiler iki kere hazırlanarak aynı deney ve analiz sürecinden geçirilmiştir. Ağır metal ve bulanıklık sonuçları değerlendirilerek tekrarlanan deneylerden elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak standart hatalar karşılaştırılmıştır.

Metal analizlerindeki deneysel hatalar %8'in altında bulunurken, bulanıklık ölçüm hataları düşük değerlerde fazla olmak üzere %2 ile %19 arasında değişmiştir.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

Bu bölümde; Koagülasyon-Yumaklaştırma işleminin sulardan bulanıklık ve metal giderimine olan etkilerinin sonuçları, kireç ve alüm kimyasalları için verilmiştir. Öncelikle alüm ile bulanıklık giderim sonuçlarına yer verilmiştir. Daha sonra ise farklı su kalitesi koşulları için kireç ile bulanıklık ve metal giderimleri incelenmiştir.

##### 4.1. Alüm ile Bulanıklık Giderimi

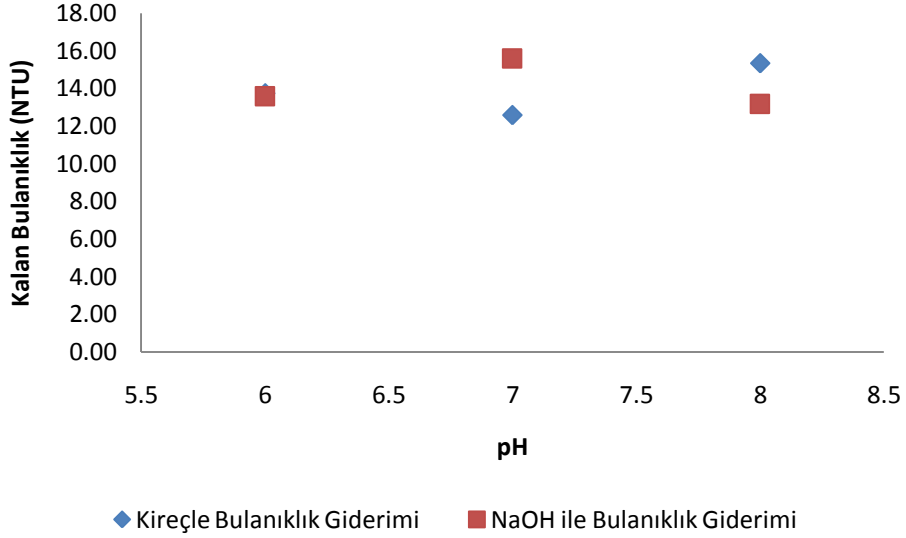
Bulanıklık içeren sularda koagülasyon işlemi, 10-50 mg/L arasında değişen alüm dozları ile uygulanmıştır. İşlemlerde pH 6-8 arasındaki değerlere ayarlanarak alüm dozları eklenmiş ve koagülasyon işlemi sonucunda hazırlanan çözeltide kalan bulanıklık miktarları incelenmiştir. Deneysel koşullar ve analiz edilen parametreler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Alüm ile bulanıklık gideriminin araştırılmasında deney koşulları.

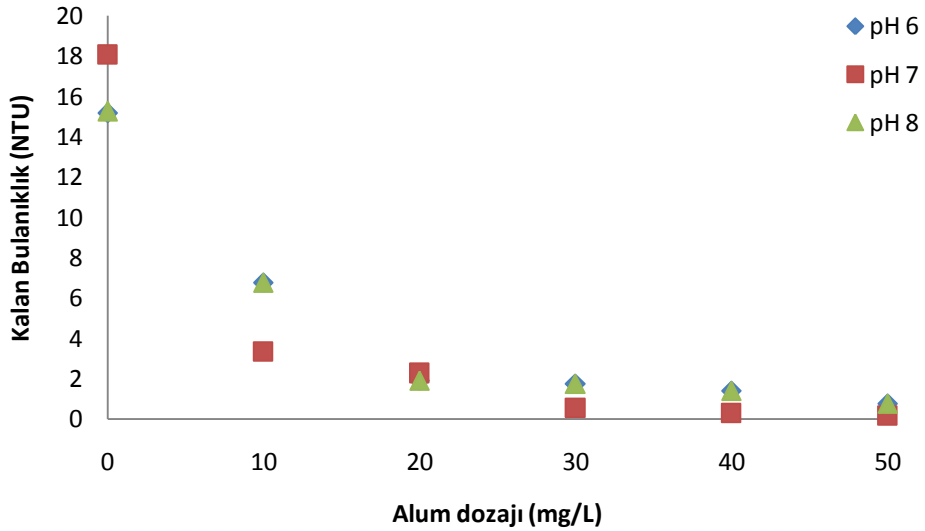
Alüm (mg/L)	İşletim ve Su Kalitesi koşulları	Analiz Parametresi
Yok	pH 6 Başlangıç Bulanıklık= 30 NTU	Bulanıklık
10		
20	pH 7 Başlangıç Bulanıklık= 30 NTU	
30		
40	pH 8 Başlangıç Bulanıklık= 30 NTU	
50		

Deney sonucunda elde edilen kalan bulanıklık değerlerine karşı alüm dozları Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Şekil 4.1.'den görüleceği gibi alümün eklenmediği koşullarda sadece pH ayarlaması ile bulanıklık 30 NTU'dan 15-18 NTU'ya düşmekte ve bulanıklık giderim verimi %40-50 arasında olmaktadır. Ayrıca pH ayarlamasında kireç veya NaOH kullanılmasının sonuçlarında anlamlı bir farklılık yaratmadığı görülmüştür (Şekil 4.1.). Bu durumda bulanıklık giderimini sağlamak için sadece pH ayarlamasının yeterli olmadığı ve alüm kullanılmasının gerektiği gözlenmektedir. 20 mg/L Alüm eklendiği takdirde tüm pH değerlerinde kalan bulanıklık konsantrasyonu 1.90-2.27 NTU arasına düşmekte ve %93-94'lük bulanıklık giderimi sağlamaktadır, fakat bu

konsantrasyonlar 1 NTU olan standartları sağlamamaktadır. pH'ın 7 olduğu koşullarda 30-50 mg/L alüm eklendiği zaman kalan bulanıklık değerleri 0.15-0.52 NTU'ya düşerek %98-100 arası bulanıklık giderimi sağlayarak standartlara uygun olmaktadır (Şekil 4.2). pH 6 ve pH 8 değerleri için ise 50 mg/L Alüm dozajı eklendiği zaman kalan bulanıklık 0.75 NTU'ya düşerek %97'lik bulanıklık giderimi sağlayarak yönetmeliklerde istenen konsantrasyonu sağlamaktadır.



Şekil 4.1. Kireç ve NaOH ile farklı pH değerlerinde bulanıklık giderimleri.



Şekil 4.2. Alüm ile farklı pH değerlerinde bulanıklık giderimleri (30NTU-pH ayarlama NaOH ile).

Başlangıç bulanıklık konsantrasyonu 38 NTU olan çözeltilerde pH 7.5 değerinde 10 mg/L alüm kullanılarak jar test uygulanmıştır ve bunun sonucunda kalan bulanıklık 4.8 NTU olmuştur (Kan et al., 2002). Kan et al, (2002); yüksek pH değerlerinde kullanılan koagülant dozunun 5 mg/L'den fazla olduğu durumlarda giderimdeki baskın mekanizmanın süpürme koagülasyonu (*sweep koagülasyonu*) olduğunu belirtmektedir. Yüksek pH değerlerinde oluşan  $Al(OH)_3$ ; çökerken sudaki kolloid partikülleri de toplayarak çökmektedir. Qin et al, (2006), 5-17.2 NTU'luk başlangıç bulanıklığına sahip çözeltilerde alüm ile giderimleri incelemiştir. Başlangıç pH'ı 6.7-6.9 arasında olan bu çözeltilere 5-6 mg/L alüm eklendiği zaman çözeltilerin pH'ları 5.2'ye düşmüştür ve koagülasyon işlemi bu pH'ta gerçekleştirilmiştir. 6.5 mg/L Alüm ile çözeltilerin kalan bulanıklıkları 0.24-0.31 NTU konsantrasyonlarına düşmüştür. Yan et al., (2008); çalışmalarında  $AlCl_3$ - $FeCl_3$  gibi koagülantların bulanıklık gideriminde optimum pH değerinin 6.5-8.2 arasında olması gerektiğini belirtmiştir. Bizim çalışmamızda da pH 6-8 arasında etkili giderim sonuçları elde edilmiştir.

Deneylere bakır eklendiği zaman çözelti pH'ı 2'nin altına düşmüştür. Bu düşüşten sonra çözeltilerin pH'larını kireç ve NaOH ile yükseltmeyi düşünüp onları aynı zamanda koagülant olarak kullanmaya karar verildi. Şayet bulanıklığı gidermeyi başardığımız 30-50 mg/L'lik alüm dozajlarını pH ayarlamadan sonra kullandığımız takdirde çözeltinin ayarlanan pH'ında Qin et al,(2006) da yaşandığı gibi pH düşüşü sağlanacaktı. Açıklanan pH seviyelerinde, arıtım ve deşarj koşullarının sağlanmasında oluşturulacak zorluklar ve su kaynaklarını temsil eden pH değerlerinin çok altında olması nedeni ile, diğer bir koagülant yardımcı kimyası olarak bilinen kireç ile araştırmalara devam edilmiştir. Deneylerde, pH ayarlaması için NaOH'da kullanılmış ve kireç sonuçları ile gerek bulanıklık gerekse metal giderimleri karşılaştırılmıştır.

#### **4.2. Kireç ile Bakır ve Bulanıklık Giderimi**

Bulanıklık ve bakır ağır metali içeren sularda kireç koagülasyon işlemi uygulanmıştır. Çözeltilerin başlangıç bakır konsantrasyonları ( $[Cu]$ ) 3, 6 ve 10 mg/L, bulanıklık miktarları ise 30,55 NTU olarak değişmektedir. Kireç ve NaOH ile çözeltilerin pH değerleri 6-8 aralığında ayarlanarak koagülasyon işlemi uygulanmıştır. Koagülasyon işlemi sonunda hazırlanan çözeltilerde kalan bulanıklık değerleri ve kalan bakır

konsantrasyonları ( $[Cu_c]$ ) incelenmiştir. Deneysel koşullar ve analiz edilen parametreler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kireç ile bulanıklık ve bakır gideriminin araştırılmasında deney koşulları.

Kimyasal	İşletim ve Su Kalitesi koşulları			Analiz Parametresi
Kireç	pH 6	Bulanıklık=Yok Bulanıklık=30NTU Bulanıklık=55NTU	$[Cu_i]$ = Yok	Bulanıklık  $[Cu_c]$
			$[Cu_i]$ = 3 mg/L	
			$[Cu_i]$ = 6mg/L	
			$[Cu_i]$ = 10 mg/L	
NaOH	pH 7	Bulanıklık=Yok Bulanıklık=30NTU Bulanıklık= 55 NTU	$[Cu_i]$ = Yok	
			$[Cu_i]$ = 3 mg/L	
			$[Cu_i]$ = 6mg/L	
			$[Cu_i]$ = 10 mg/L	
NaOH	pH 8	Bulanıklık=Yok Bulanıklık=30NTU Bulanıklık= 55 NTU	$[Cu_i]$ = Yok	
			$[Cu_i]$ = 3 mg/L	
			$[Cu_i]$ = 6mg/L	
			$[Cu_i]$ = 10 mg/L	

#### 4.2.1. Başlangıç Bulanıklık Miktarının Etkisi

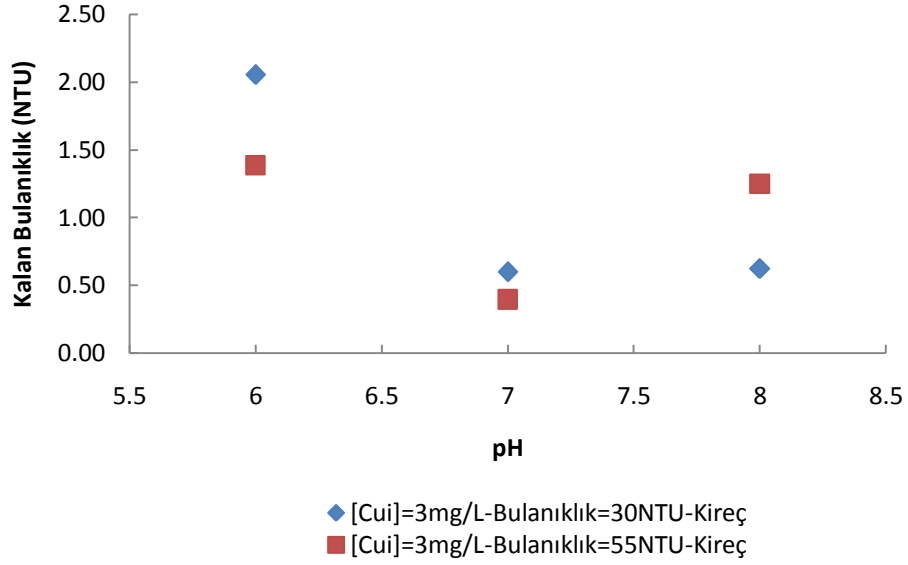
Başlangıç bulanıklık konsantrasyonunun artışın bulanıklık ve bakır giderimine bir etkisi olup olmadığını gözlemlemek amacı ile farklı miktarlarda bulanıklık değerleri deneyde kullanılmıştır. Bu bölümde ilk olarak başlangıç bulanıklık miktarının bulanıklık giderimine etkisi incelenmiş, daha sonra ise bakır metalinin giderimine olan etkisi incelenmiştir.

##### 4.2.1.1. Bulanıklık Giderimine Etkisi

Başlangıç bulanıklık miktarındaki artışın bulanıklık giderimine olan etkisini gözlemlemek için  $[Cu_i]$ = 3 mg/L olan ve başlangıç bulanıklık miktarları 30 ve 55 NTU olan çözeltilerdeki bulanıklık giderimleri kireç ile ayarlanan farklı pH değerleri için Şekil 4.3.’te gösterilmiştir. Şekil 4.3.’te açıklandığı gibi kireç ile bulanıklık giderimlerinde bulanıklık miktarları 2 NTU’nun altına düşerek %93-99 arasında



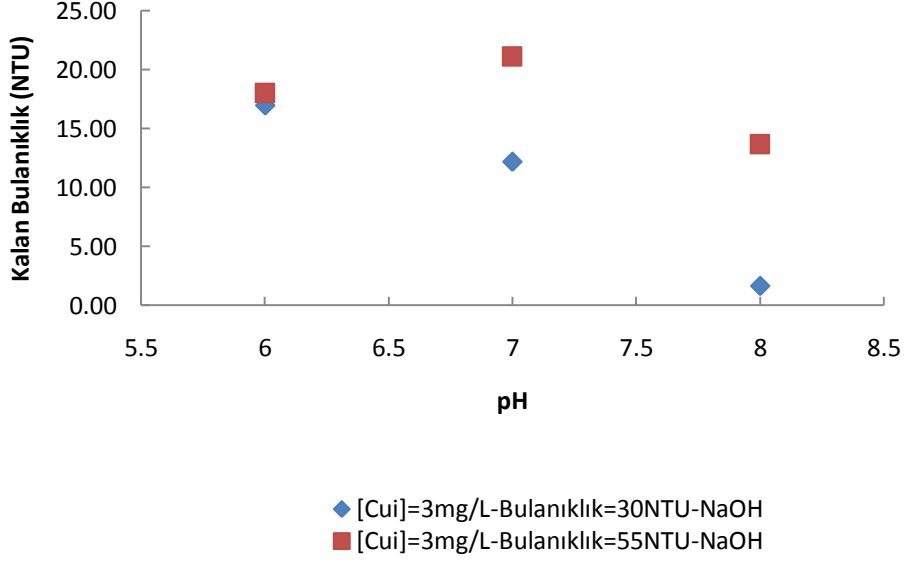
bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir. İlave olarak, çözeltilerin bulanıklık miktarlarının, giderime anlamlı etkisi olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.3. Bulanıklık miktarlarının kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimine etkisi ([Cu<sub>i</sub>]=3mg/L)

Daha sonra aynı çözeltiler kireç yerine NaOH ile pH ayarlamasına tabi tutulup bulanıklık giderimi araştırılmıştır. Şekil 4.4.'te açıklandığı gibi, genel olarak tüm pH değerleri için çözeltilerin bulanıklık miktarları 12-21 NTU seviyelerine düşmüş giderim verimi %45-%76 seviyelerine inmiştir. İlave olarak, NaOH'lı çalışmalarda yüksek NTU'larda daha iyi giderim sağlanmıştır. Sadece başlangıç bulanıklık konsantrasyonu 30 NTU olan ve pH 8'deki çözeltide kalan bulanıklık 1.67 NTU'ya düşerek %95'lik bir giderim elde edilmektedir.

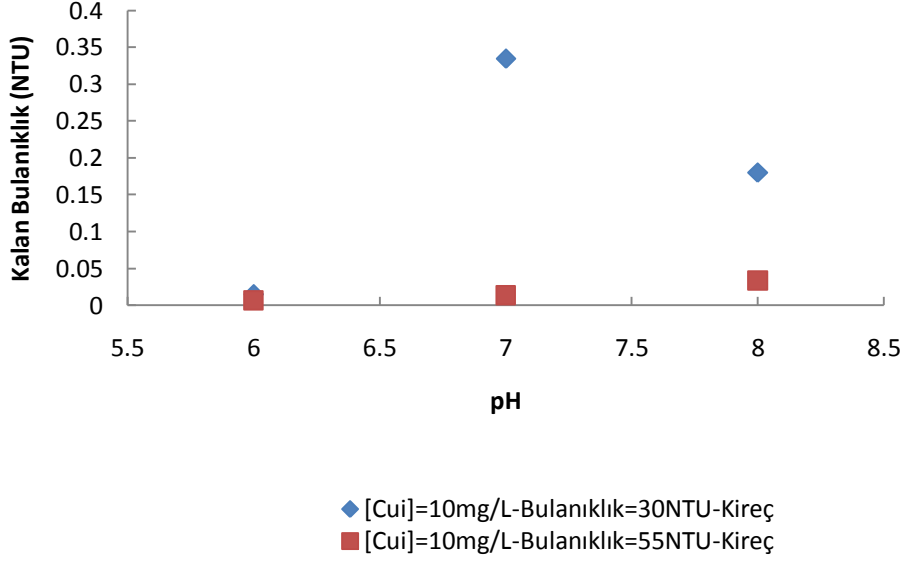
pH'nin yükselmesi ile bulanıklık gideriminin de artması süpürme koagülasyonu ile olmaktadır. Yüksek pH değerlerinde oluşan Cu(OH)<sub>2</sub>; çökerken sudaki kolloid partikülleri de toplayarak çökmektedir, bunun sonucunda da bulanıklık gideriminde düşük pH değerlerine göre daha fazla giderim gözlenmektedir.



Şekil 4.4. Bulanıklık miktarlarının NaOH kullanılan çözeltilerde bulanıklık giderimine etkisi ( $[Cu_i]=3\text{mg/L}$ )

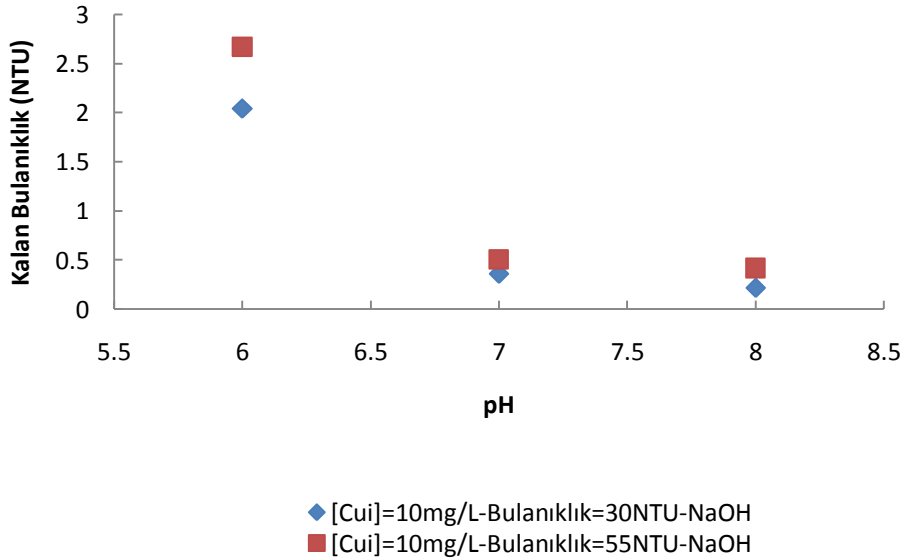
NaOH ile pH ayarlaması yapıldığı zaman daha düşük verimler elde edilip yönetmeliklerde istenen bulanıklık limiti olan 1 NTU hiçbir koşulda sağlanamamıştır. Kireç ile yapılan giderimlerde ise başlangıç bulanıklık konsantrasyonu 30 NTU olan çözeltilerde pH 7-8 koşullarında kalan bulanıklık 1 NTU altına düşerek istenen giderim elde edilmiştir.

Çalışmanın bu aşamasında sudaki bakır konsantrasyonu 10 mg/L'ye yükseltilmiştir. Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi kireç ile bulanıklık miktarlarını 0.01-0.3 NTU'ya indirerek, %99-100 aralığında çok yüksek bir verimlilik sağlanmıştır. Gerçekleştirilen arıtım seviyesi yönetmeliklerde istenilen miktarların çok altındadır. Çözeltideki bakır içeriğinin buna etkisi olduğu düşünülmektedir. Bakır ile eksi yüklü kil partikülleri bir araya gelip nötralize olarak çökelmişlerdir.



Şekil 4.5. Bulanıklık miktarlarının kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimine etkisi ([Cu<sub>i</sub>]=10mg/L)

[Cu<sub>i</sub>]=10 mg/L olan çözeltilerde, NaOH kullanıldığı zaman, giderim verimliliği (pH 6 koşulu hariç), kireç kullanımına göre daha az olmasına rağmen, elde edilen değerler yönetmeliklerce belirtilen sınırların altındadır. pH 6'da bulanıklık miktarı 2 NTU civarında iken bu değer yüksek pH'larda 0.5 NTU civarındadır.

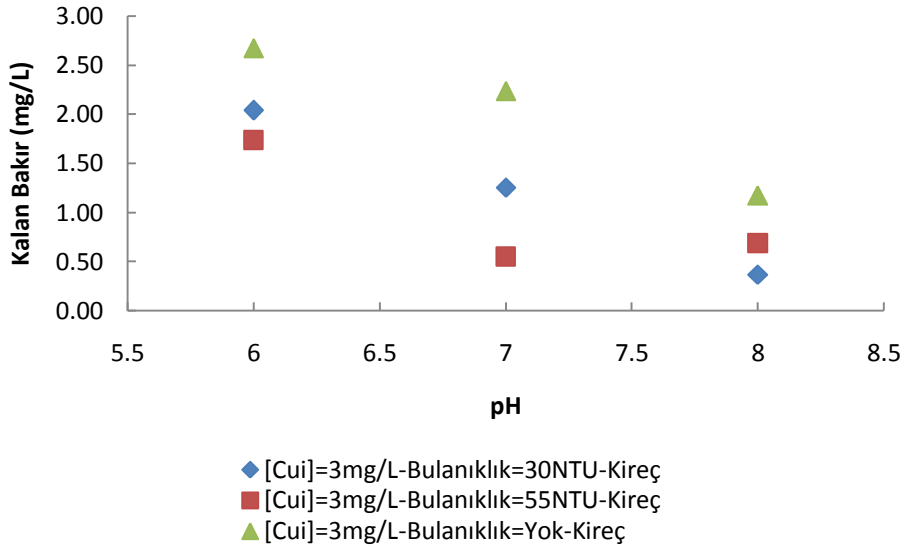


Şekil 4.6. Bulanıklık miktarlarının NaOH kullanılan çözeltilerde bulanıklık giderimine etkisi ([Cu<sub>i</sub>]=10mg/L)

#### 4.2.1.2. Bakır Giderimine Etkisi

Bulanıklık miktarlarının kireç ile bakır giderimine olan etkisi Şekil 4.7.'de verilmiştir.  $[Cu_i]=3\text{mg/L}$  olan ve bulanıklık içermeyen çözeltilerde, suda kalan bakır miktarı, bulanıklık içeren çözeltilere göre daha yüksek olmakla birlikte, bakır konsantrasyonlarının suyun pH'ının yükselmesi ile azaldığı görülmüştür. Çözeltilerin pH'larının yükselmesi ile çözelti bazik koşullara geçmektedir, bazik koşullarda çözülmüş bakır iyonları; çözünmemiş katı bakır iyonlarına dönüşerek ortamdan arıtılmaktadır.

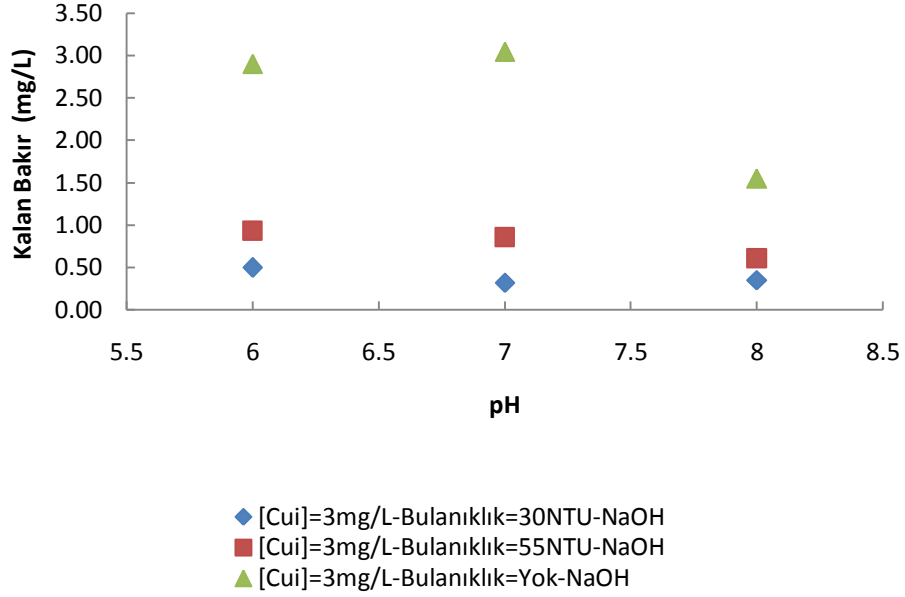
Bulanıklık içermeyen çözeltilerde bakır seviyeleri 1.17-2.67 mg/L arasında iken, bulanıklık miktarının 30 ve 55 NTU'ya çıkarılması ile 0.37-2 mg/L'ye düşerek, uygulanan her bir pH seviyesi için yönetmeliklerce uygun konsantrasyonlara indirilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi, yönetmeliklerce kabul edilen en yüksek bakır konsantrasyonu 2mg/L'dir. Çözeltilerde bulanıklık artışının bakır giderimine olumlu yönde etkisi olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.7. Bulanıklık miktarının kireç koagülasyonu ile bakır giderimine etkisi ( $[Cu_i]=3\text{mg/L}$ )

Şekil 4.8.'de NaOH ile pH değerlerinin ayarlandığı çözeltilerde bakır giderimi verilmiştir. Bulanıklık içermeyen çözeltilerde pH'ın 6 olduğu koşul için herhangi bir bakır giderimi elde edilmemiştir. Buna karşın, pH 8'de giderim 1.6 mg/L'ye düşerek %50 giderim gerçekleşmiştir. Aynı pH değeri için bulanıklık 30 ve 55 NTU'ya

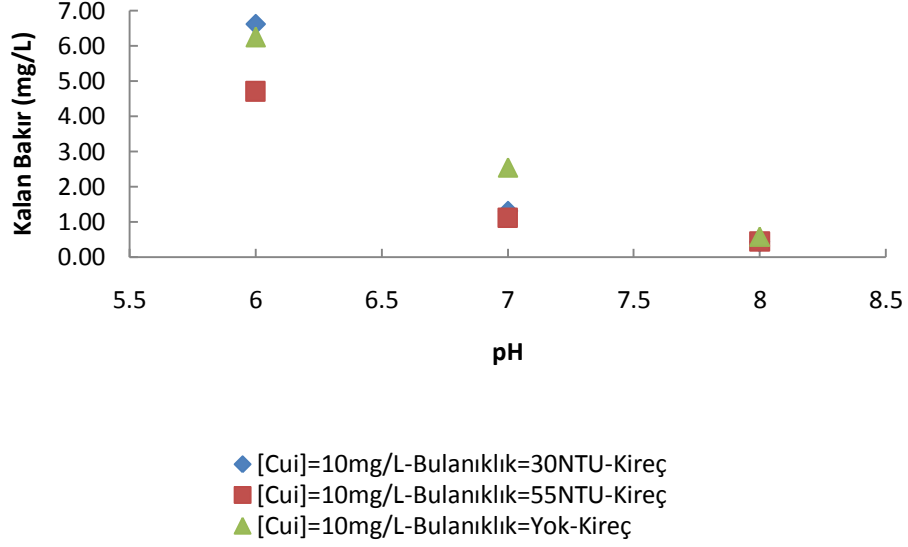
yükseltildiğinde, bakır konsantrasyonları sırası ile 0.3 ve 0.9 mg/L'ye düşerek giderim %90'lara ulaşmıştır. Aynı zamanda, yüksek pH değerlerinde kireç-NaOH uygulaması bakır gideriminde anlamlı bir farklılık yaratmamıştır. Öte yandan, pH 6'da NaOH kullanılan çözeltilerde %25-45 oranında daha fazla bakır giderimi elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak düşük pH'larda sudaki  $Ca^{2+}$  iyonlarının  $Cu^{2+}$  iyonları ile eksi yüklü kil minerallerinin yüzeyi için rekabete girdiği düşünülmüştür.



Şekil 4.8. Bulanıklık miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bakır giderimine etkisi ([ $Cu_i$ ]=3mg/L)

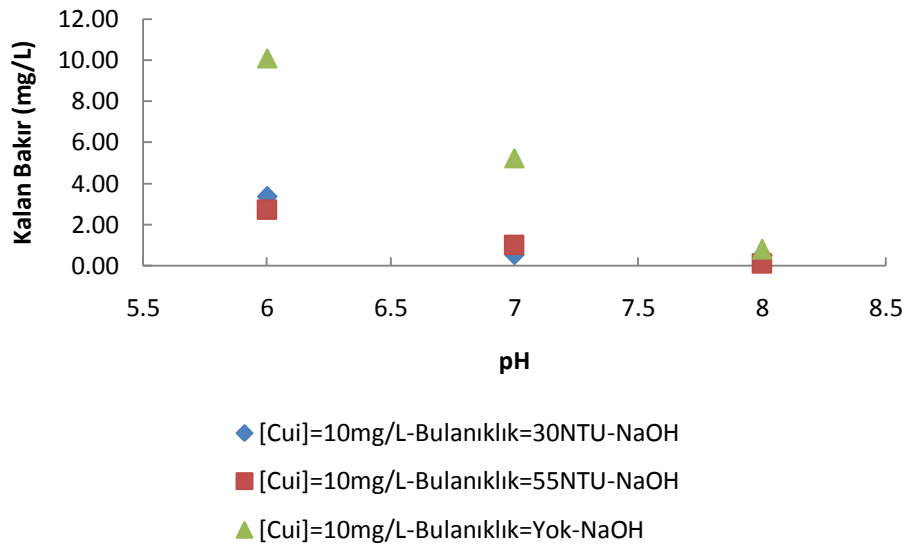
Bakır konsantrasyonlarının 10mg/L'ye yükseltilmesi ile birlikte, pH 6'da, bulanıksız ve bulanıklı çözeltiler için kireç uygulaması, bakır konsantrasyonlarını 4.7-6.6 mg/L'ye indirmiştir. Açıklanan konsantrasyonlar yönetmeliklerce açıklanan 2 mg/L'lik standartların üstündedir.

pH 8'e yükseldiği zaman ise kalan bakır konsantrasyonları bulanıklık içeren ve içermeyen çözeltiler için 0.43-0.53 mg/L arasında değişerek %94-96 oranında bakır giderim verimi elde edilmiştir. Bulanıklık içermeyen ve içeren çözeltilerde yüksek konsantrasyonlarda benzer giderimler oluşturmuştur. Yüksek pH değerlerinde çökelme reaksiyonları sonucunda yüksek bakır miktarları çözeltilerden verimli bir şekilde arıtılmıştır.



Şekil 4.9. Bulanıklık miktarının kireç koagülasyonu ile bakır giderimine etkisi ([Cu<sub>i</sub>]=10 mg/L).

NaOH ile pH ayarlama yapıldığı zaman elde edilen bakır giderimleri Şekil 4.10.'da verilmiştir. Kireç kullanımı ile benzer olarak NaOH ile pH 6'ya ayarlandığı zaman kilsiz çözeltilerde giderim gözlenmemektedir; fakat bulanıklık içeren aynı özellikteki çözeltilerde %65-73 arasında giderim gözlenmektedir. pH 8'e yükseldiği zaman tüm çözeltilerde %92-96 oranında bakır giderimi gözlenmektedir.



Şekil 4.10. Bulanıklık miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bakır giderimine etkisi ([Cu<sub>i</sub>]=10mg/L)

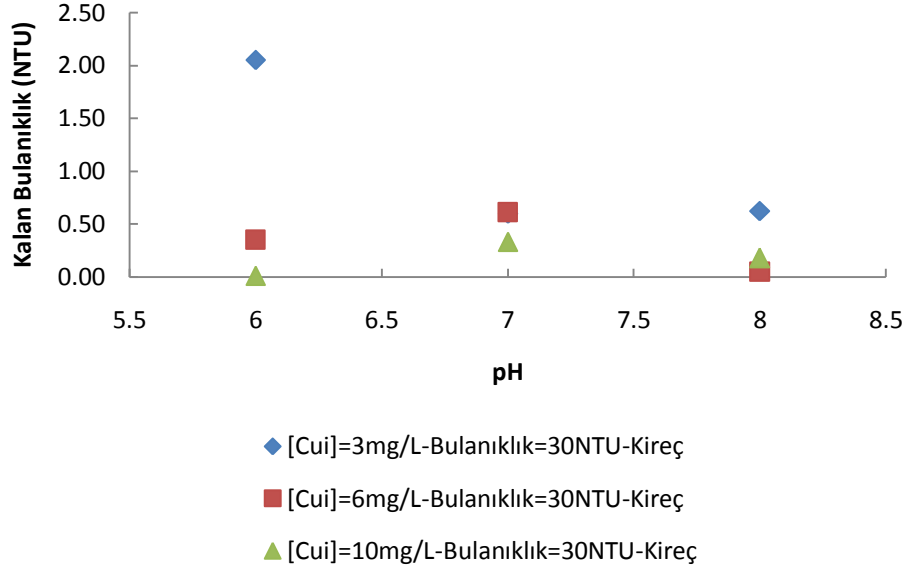
Kil mineralleri; ağır metallerin sudan adsorbe edilmesinde kullanılmaktadır. Eren et al.,(2008); Ünye kilini modifiye ederek bakır metal iyonlarını sudan adsorbe etmekte kullanmıştır. Kilsiz çözeltilerde sadece yükselen pH ile  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  katı bileşikleri oluşmakta ve bakır giderimi bununla sağlanmaktadır. Fakat kil içeren çözeltilerde hem  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  oluşmakta hem de sudaki kil partiküllerinin yüzeyine bakır adsorbe olarak kille birlikte çökelmektedir. Bunun sonucunda kil içeren çözeltilerde daha fazla bakır giderimi gözlenmiştir.

#### **4.2.2. Başlangıç Bakır Konsantrasyonunun Bulanıklık ve Bakır Giderimine Etkisi**

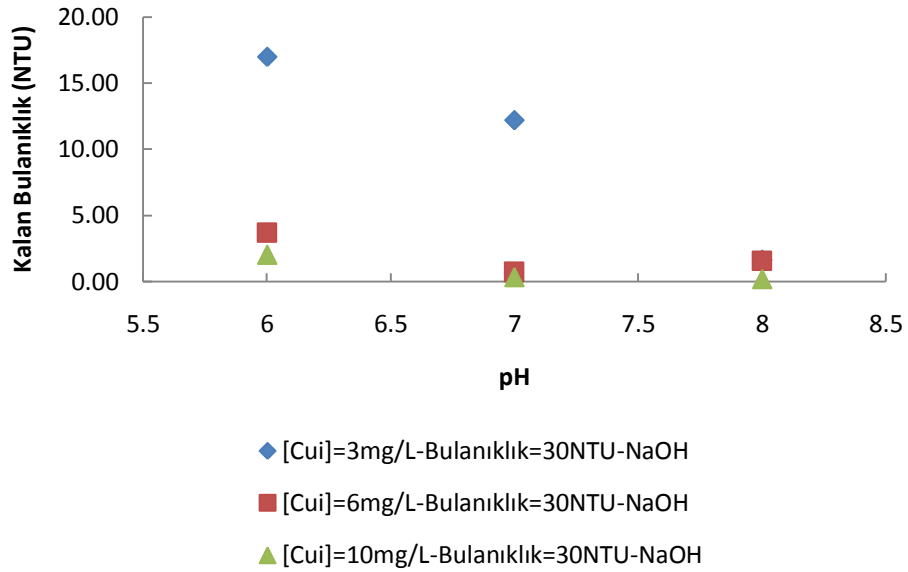
Bu bölümde, başlangıç bakır konsantrasyonunun bulanıklık ve bakır giderimine etkisi araştırılmıştır. İlk olarak başlangıç bakır konsantrasyonunun bulanıklık giderimine etkisi, daha sonra ise bakır metalinin giderimine olan etkisi incelenmiştir.

##### **4.2.2.1. Bulanıklık Giderimine Etkisi**

Bulanıklık giderimine etkisi  $[\text{Cu}_i]=3,6,10$  mg/L için araştırılmıştır. Çözeltilerde bulanıklık değeri 30 NTU'dur. Şekil 4.11.'de kireç kullanılan deneylerin sonuçları açıklanmaktadır. pH 6'da, bakır konsantrasyonunun yükselmesi ile birlikte bulanıklık giderimi önemli bir şekilde artmıştır. Bu gözlemler, bakır konsantrasyonundaki artışın bulanıklık giderimine olumlu etkisi olduğunu göstermiştir. Bu etkinin, pozitif yüklü bakır iyonlarının çözeltilerde bulanıklığı oluşturan negatif yüklü kil parçacıklarını nötralize ederek birbirleri arasındaki itme kuvvetlerinin azalmasına neden olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Bunun sonucu, kararlı konumları bozulan partiküller bir araya gelerek çökelmiştir (Kurniawan et al., 2006). pH 7 ve 8'de kirecin çökme eğiliminin artması ile bulanıklığa neden olan kolloidlerin çökelekler tarafından süpürülerek arıtıldığı düşünülmüştür. Düşük pH (pH 6) ve düşük bakır konsantrasyonunun ( $[\text{Cu}_i]=3$  mg/L) haricinde, artan bakır miktarları ve pH değerleri bulanıklığı 1 NTU'nun altına indirmiştir. NaOH uygulamasında, kireç uygulamasına benzer olarak, bakır konsantrasyonlarının fazlalaşması bulanıklık giderimini arttırmıştır.



Şekil 4.11. Bakır miktarının kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimine etkisi (Bulanıklık=30 NTU)



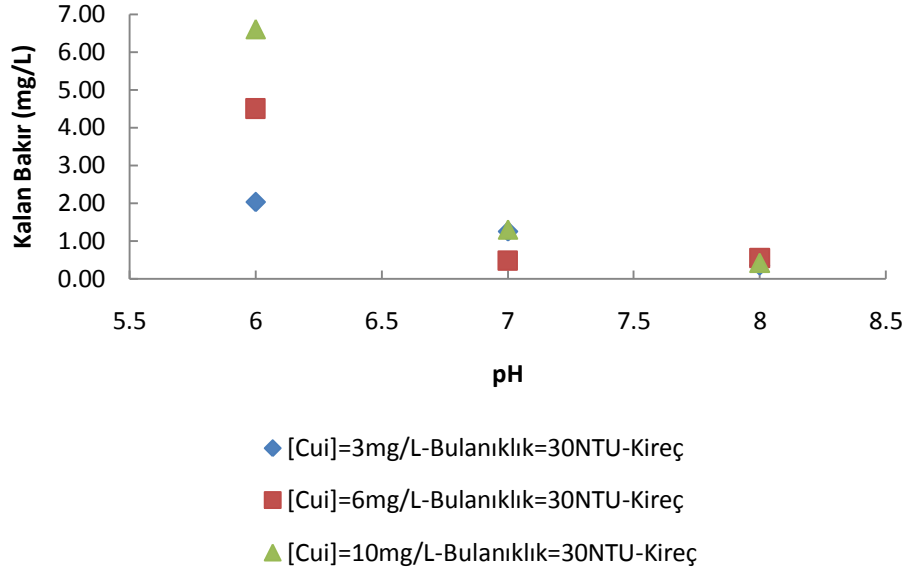
Şekil 4.12. Bakır miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bulanıklık giderimine etkisi (Bulanıklık= 30NTU)

#### 4.2.2.2. Bakır Giderimine Etkisi

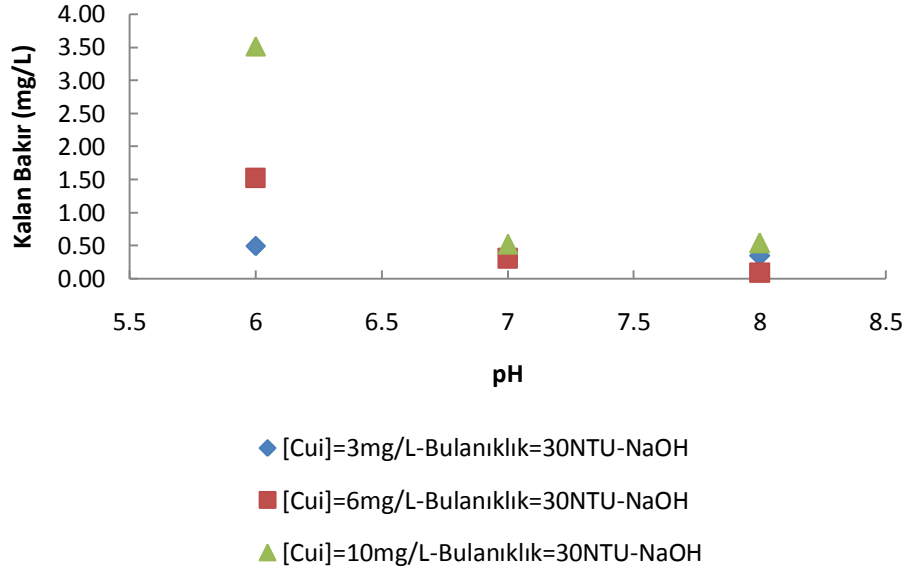
Farklı bakır konsantrasyonlarının bakır giderimine etkisi, kireç ve NaOH uygulamaları için sırası ile Şekil 4.13. ve 4.14.'de verilmiştir. pH 7 ve 8'de, bakırın çökmesi  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  metal konsantrasyon etkisini bakır gideriminde anlamsız kılmıştır. Artırım verimliliği açıklanan pH'larda bakır konsantrasyonu 1.5 mg/L'nin altına düşecek



şekilde bulunmuştur. pH 6 ise; yüksek bakır konsantrasyonlarında bakır giderim oranlarının düşmesi, kil yüzeylerinin, bakır için sınırlayıcı olduğunu düşündürmüştür.



Şekil 4.13. Bakır miktarının kireç koagülasyonu ile bakır giderimine etkisi (Bulanıklık=30 NTU)



Şekil 4.14. Bakır miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bakır giderimine etkisi (Bulanıklık= 30NTU)

### 4.3. Kireç ile Kurşun ve Bulanıklık Giderimi

Çalışmanın bu bölümünde kireç koagülasyonunun bulanıklık ve kurşun giderimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çözeltilerde kurşun konsantrasyonu 10 mg/L'de tutulurken, bulanıklık 30 ve 55 NTU değerleri için deneyler yapılmıştır. Çözeltilere koagülasyon uygulaması pH 6,7,8'de gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çözeltinin pH'ları kireç yerine NaOH ile ayarlanarak bulanıklık ve kurşun giderimi kireç deneyleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel koşullar ve analiz edilen parametreler Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

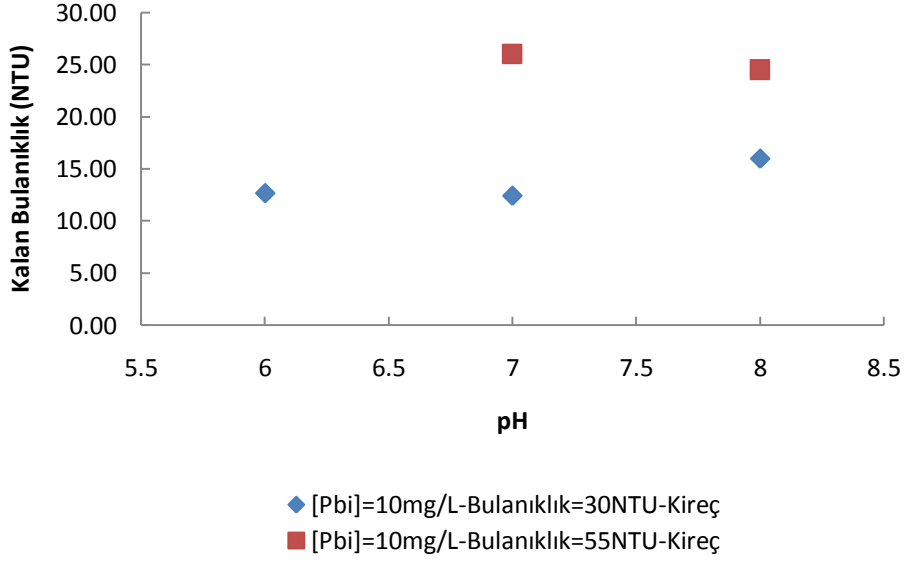
Çizelge 4.3. Kireç ile bulanıklık ve kurşun gideriminin araştırılmasında deney koşulları.

Kimyasal	İşletim ve Su Kalitesi koşulları			Analiz Parametresi
Kireç	pH 6	Bulanıklık=Yok Bulanıklık=30NTU Bulanıklık=55NTU	[Pb <sub>i</sub> ]= 10 mg/L	Bulanıklık [Pb <sub>ç</sub> ]
	pH 7	Bulanıklık=Yok Bulanıklık=30NTU Bulanıklık=55NTU		
NaOH	pH 8	Bulanıklık=Yok Bulanıklık=30NTU Bulanıklık=55NTU		

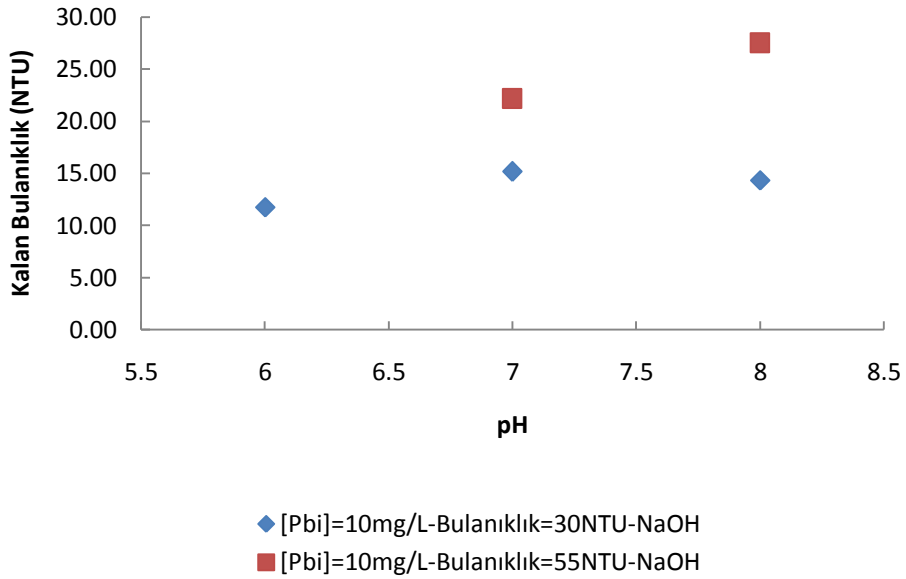
#### 4.3.1. Bulanıklık Giderimi

Şekil 4.15.'de kurşun içeren çözeltilerde kireç koagülasyon işlemi sonundaki bulanıklık miktarları verilmiştir. 55 NTU'luk çözeltiler arıtım sonrası 25-26 NTU'lara düşerken , 30 NTU'luk çözeltilerde kalan bulanıklık miktarı nispeten daha düşük olan 12-16 NTU'larda bulunmuştur.

Kurşun içeren çözeltilerde uygulanan pH 6-8 aralığında bulanıklık giderimi kabul edilebilir seviyelerde olmamıştır. Aynı deneyler NaOH kullanılarak pH ayarlanması ve koagülasyon işlemi için tekrarlanmıştır. Şekil 4.16.'da görüldüğü gibi bulanıklık giderimi açıklanan koşullar için, kireç uygulanması ile benzer sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.15. Bulanıklık miktarının kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimine etkisi ([Pb<sub>i</sub>]= 10 mg/L)



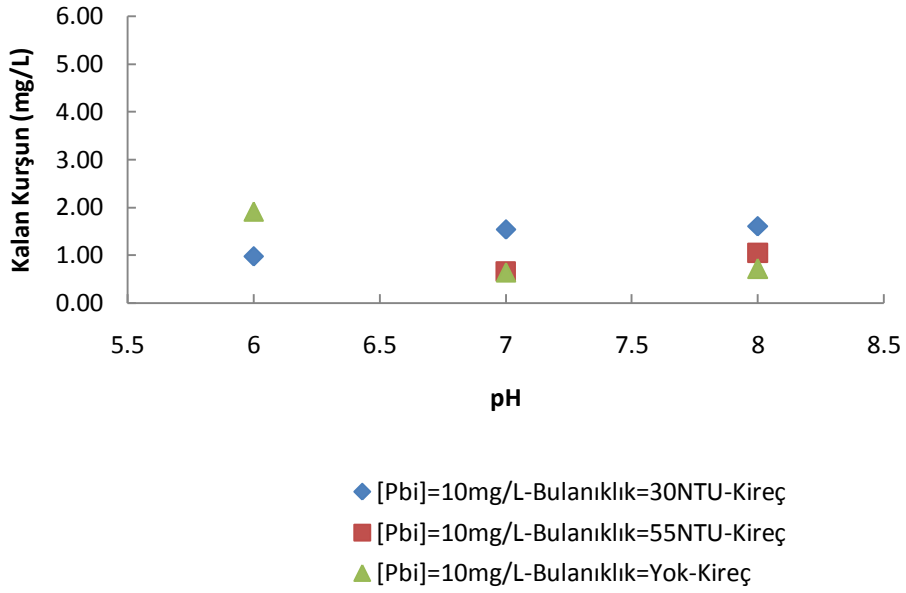
Şekil 4.16. Bulanıklık miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde bulanıklık giderimine etkisi ([Pb<sub>i</sub>]= 10 mg/L)

Kurşun içeren çözeltilerde bulanıklık giderimi olmazken aynı konsantrasyonda bakır içeren çözeltilerde bulanıklık giderimi tüm pH değerlerinde 0,01-2,04 NTU arasındaki konsantrasyonlara düşerek %93-100 oranında bulanıklık giderimi sağlamaktadır.

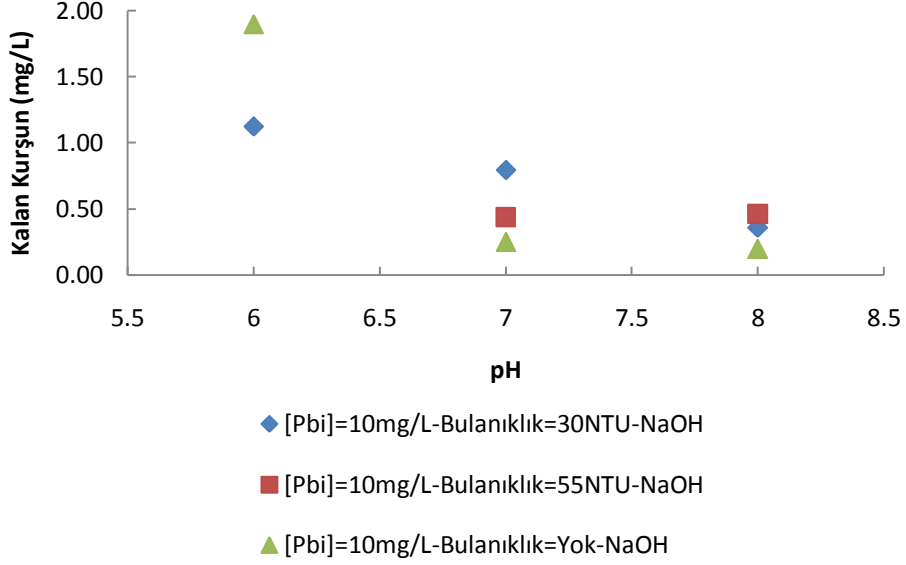
Böylelikle çözeltilerdeki kurşun içeriğinin bakır içeriğine benzer olarak bulanıklığı giderimde olumlu etkisi olmadığı görülmüştür. İlave olarak kurşunun kil yüzeylerine bakır gibi güçlü bir bağlanma eğiliminin olmadığı düşünülmektedir.

#### 4.3.2. Kurşun Giderimi

Yukarıda açıklanan koşullarda, çözeltilerde ölçülen kurşun konsantrasyonları kireç ve NaOH uygulamaları için sırası ile Şekil 4.17. ve 4.18.'de verilmiştir. Kireç koagülasyonunda Şekil 4.17.'de tüm pH değerlerinde kurşun konsantrasyonu 0.64-1.92 mg/L arasına düşmüştür. Çözeltilerde benzer giderim eğilimi gözlenerek pH artışının çökelmeye olan etkisi gözlenememiştir. Şekil 4.18.'de NaOH uygulamasında ise pH 6'da 1 mg/L'nin üzerinde elde edilen kurşun konsantrasyonları, pH'nin 8'e yükselmesi ile 0.44 mg/L'nin altına düşmüştür.



Şekil 4.17. Bulanıklık miktarının kireç koagülasyonu ile kurşun giderimine etkisi ([Pb<sub>i</sub>]= 10 mg/L).



Şekil 4.18. Bulanıklık miktarının NaOH kullanılan çözeltilerde kurşun giderimine etkisi ([Pbi]= 10 mg/L)

Kurşun gideriminde NaOH ile pH ayarlama yapıldığı zaman daha düşük kurşun konsantrasyonları elde edilmiştir. Kurşun giderimlerinde cihazda okunan en düşük kurşun konsantrasyonu olan 0,1 mg/L bile yönetmeliklerde istenen standartları sağlamak için yeterli değildir. Yönetmeliklerde istenen kurşun konsantrasyonları 10-25 µg/L arasında değişmektedir fakat düşük başlangıç kurşun konsantrasyonları ile çalışıldığında kalan kurşun konsantrasyonları Atomik Absorbsiyon cihazının okuma limitinin altında kaldığından dolayı sadece yüksek kurşun konsantrasyonu ile çalışılmıştır.

#### 4.4. Kurşun-Bakır Karışımında Kireç ile Bulanıklık ve Metal Giderimi

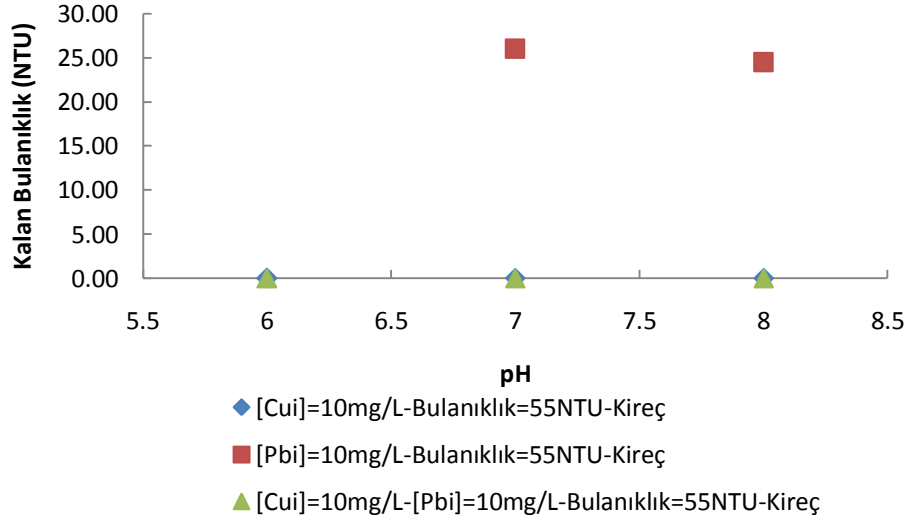
Çalışmanın bu bölümünde kireç koagülasyonunun bulanıklık ve metal giderimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çözeltilerde kurşun ve bakır konsantrasyonu 10mg/L'de tutulurken, bulanıklık 30 ve 55 NTU değerleri için deneyler yapılmıştır. Çözeltilere koagülasyon uygulaması pH 6, 7, 8'de gerçekleştirilmiştir. Koagülasyon işlemi sonucunda hazırlanan çözeltide kalan bulanıklık ve kalan metal konsantrasyonları incelenmiştir. Deneysel koşullar ve analiz edilen parametreler Çizelge 4.4'de verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Kireç ile bakır-kurşun ve bulanıklık gideriminin araştırılmasında deney koşulları.

Kimyasal	İşletim ve Su Kalitesi koşulları			Analiz Parametresi
Kireç	pH 6	Bulanıklık=Yok Bulanıklık=30NTU Bulanıklık= 55 NTU	[Cu <sub>i</sub> ]=10 mg/L  [Pb <sub>i</sub> ]=10 mg/L	Bulanıklık
	pH 7	Bulanıklık=Yok Bulanıklık=30NTU Bulanıklık= 55 NTU		[Cu <sub>ç</sub> ]
NaOH	pH 8	Bulanıklık=Yok Bulanıklık=30NTU Bulanıklık= 55 NTU		[Pb <sub>ç</sub> ]

#### 4.4.1. Bulanıklık Giderimi

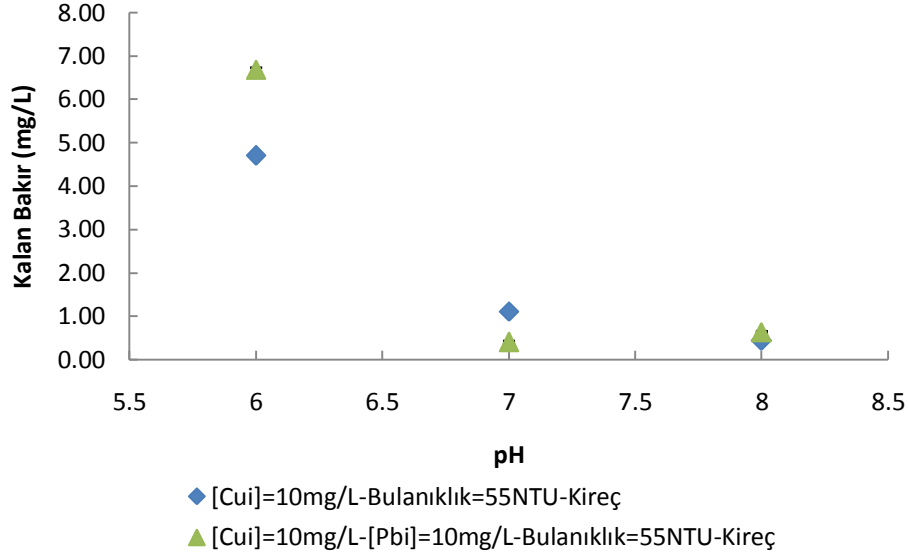
Şekil 4.19.'da kurşun ve bakır içeren çözeltilerde kireç koagülasyonu işlemi sonrasındaki kalan bulanıklık miktarları verilmiştir. 55 NTU'luk sadece bakır ve sadece kurşun içeren çözeltiler ile kalan bulanıklık konsantrasyonları bu şekilde karşılaştırılmıştır. Sadece kurşun içeren çözeltilerde bulanıklık giderimi %54-%56 arasında kalırken; bakır içeren tüm çözeltilerde %100'e yakın giderim olmuştur. Bu sonuçlar bir kez daha çözeltilerde [Cu<sub>i</sub>]=10 mg/L olduğu koşullarda 55 NTU'luk bulanıklığın tamamen giderildiğini göstermektedir.



Şekil 4.19. Farklı metal içeriklerinde kireç koagülasyonu ile bulanıklık giderimi (55 NTU).

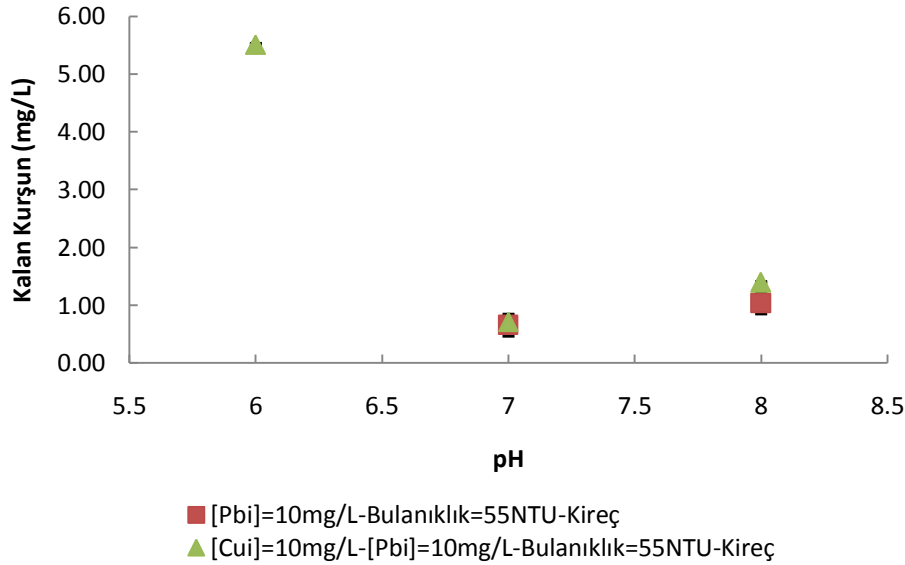
#### 4.4.2. Metal Giderimi

Kurşun ve bakır içeren çözeltilerde kireç koagülasyonu işlemi sonrasındaki kalan metal iyonu miktarları Şekil 4.20. ve 4.21.'de verilmiştir. Şekil 4.20.'de sadece bakır içeren çözeltiler ile bakır-kurşun karışımı içeren çözeltilerdeki bakır giderimi gösterilmektedir. pH 7 ve 8 değerlerinde iki farklı çözeltide de kalan bakır 1.1 mg/L'nin altına düşerek benzer giderimler elde edilmiştir.



Şekil 4.20. Farklı metal içeriklerinde kireç koagülasyonu ile bakır giderimi (55 NTU).

Şekil 4.21.'de sadece kurşun içeren çözeltiler ile bakır-kurşun karışımı içeren çözeltilerdeki kurşun giderimi gösterilmektedir. pH 7 ve 8 değerlerinde iki farklı çözeltide de kalan kurşun 1.4 mg/L'nin altına düşerek benzer giderimler elde edilmiştir. Bakır-kurşun karışımının metallerin ayrı ayrı giderilmesinde hiçbir etkide bulunmamıştır ve sadece bakır ya da kurşun içeren çözeltiler ile benzer giderim sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 4.21. Farklı metal içeriklerinde kireç koagülasyonu ile bakır giderimi (55 NTU).



## 5. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

1. 30 NTU bulanıklık içeren çözeltilerde 30-50 mg/L alüm eklenmesi ile pH 7'de %98-100'lük bulanıklık giderimi sağlanmaktadır.
2.  $[Cu_i]=3$  mg/L olan çözeltilerde pH ayarlama kireç ile yapıldığında bulanıklık giderimi %93-99 seviyelerinde olurken pH ayarlama NaOH kullanıldığında genel olarak %45-%76 seviyelerinde giderim gözlenmiştir.
3.  $[Cu_i]=3$  mg/L olan çözeltilerde bulanıklık artışının bakır giderimine olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir. Bulanıklık içermeyen çözeltilerde bakır seviyesi en düşük 1.17 mg/L'ye düşerken, bulanıklık içeren çözeltilerde bu değer 0.37 mg/L'ye düşmüştür.
4. Bakır gideriminde; pH yükselmesinin bakır giderimine olumlu etkisi olduğu gözlenmiştir.  $[Cu_i]=10$  mg/L ve bulanıklık içermeyen çözeltilerde pH 6'da %38 bakır giderimi gözlenirken; pH 8'de bu giderim %94'e yükselmiştir.
5. pH 6-7'de çözeltilerde başlangıç bulanıklık miktarının artması ile bakır gideriminin de arttığı gözlenmiştir. Çözelti içerisindeki kil ile birlikte bakır iyonlarının süpürme koagülasyonu ile daha fazla giderildiği düşünülmektedir. pH 8'de ise bulanıklık içeren ve içermeyen çözeltiler benzer bulanıklık giderimleri elde etmişlerdir.
6.  $[Cu_i]=10$  mg/L olan çözeltilerde bulanıklık giderimi %100'e yakın olarak sağlanmıştır.  $[Pb_i]=10$  mg/L olan çözeltilerde ve  $[Cu_i]=3$ mg/L konsantrasyonuna sahip çözeltilerde de verimli bulanıklık giderimi gözlenmemiştir. Yüksek başlangıç bakır konsantrasyonunun yüksek bulanıklık miktarlarında bile olumlu giderim sağladığı belirlenmiştir.
7. Kireç koagülasyonu ile kurşun gideriminde  $[Pb_i]=10$  mg/L, 0,30 ve 55 NTU'larda kurşun konsantrasyonu 0.64-1.92 mg/L arasına düşmüştür fakat yönetmeliklerce istenen kurşun konsantrasyonu sağlanamamıştır.

8. Bakır-kurşun karışımı, sadece bakır ya da kurşun içeren çözeltiler ile metal giderimi dikkate alındığı zaman benzer giderim sonuçları elde edilmiştir. Bakır-kurşun karışımı bulanıklık gideriminde ise sadece bakır içeren çözeltiler ile benzer giderim sağlamıştır.

## 6. ÖNERİLER

Kireç koagülasyonu ile ağır metal ve bulanıklığın giderildiği bu çalışmada yöntem farklı işletim koşullarında, farklı özelliklerdeki sentetik sularda uygulanmıştır. İlerde yapılacak çalışmalarda yöntemin doğal kaynaklardan alınan sularda kullanılması önerilebilir. Ayrıca kurşun içeren çözeltilerde bulanıklık ve kurşun giderimi sağlamak amacı ile ileri arıtım yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Polimerik adsorbentlerin kullanımı da önerilebilir.

## 7. KAYNAKLAR

APHA, AWWA, WPCF, 1989, Standart Method for The Examination of Water and Wastewater, 17th Edition, Washington DC., Am. Public Health Assoc.

ATSDR, 2004, Public Health Statement for Copper, <http://www.atsdr.cdc.gov/PHS/PHS.asp?id=204&tid=37>

ATSDR, 2007, Lead, <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts13.pdf>.

Aziz, H.A., Adlan, M.N., Ariffin K.S., 2008, Heavy metals (Cd, Pb, Zn, Ni, Cu and Cr(III)) removal from water in Malaysia : Post treatment by high quality limestone, Biosource Technology, 99, 1578-1583.

Bojic, A., Bojic, D., Andjelkovic, T., 2009, Removal of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  from model wastewaters by spontaneous reduction-coagulation process in flow conditions, Journal of Hazardous Materials, 168, 813-819.

Charerntanyarak, L., 1999, Heavy metals removal by chemical coagulation and precipitation, Water Science and Technology, 39, 135-138.

Eren, E., 2008, Removal of copper ions by modified Unye clay, Turkey, Journal of Hazardous Materials, 159, 235-244.

Eroğlu V., 2008, Su Tasfiyesi, Çevre Orman Bakanlığı Yayını, Ankara, 440 s.

EU, 1998, Council directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption

Kan, C., Huang, C., Pan, J.R., 2002, Time requirement for rapid-mixing in coagulation, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 203, 1-9.

Kang, C.K., Sim, S.J., Cho, Y.S., Kim, W.S., 2003, Process development for the removal of copper from wastewater using ferric/limestone treatment , Korean Journal of Chemical Engineering, 20(3), 482-486.

- Kurniawan, T.A., Gilbert, Y.S., Chan, Lo, W., Babel., S., 2006, Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals, *Chemical Engineering Journal*, 118, 83-98.
- Lee, M., Paik, I.S., Kim, I., Kang, H., Lee, S., 2007, Remediation of heavy metal contaminated groundwater originated from abandoned mine using lime and calcium carbonate, *Journal of Hazardous Materials*, 144, 208-214.
- Lenntech, 2009a, Copper, <http://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>
- Lenntech, 2009b, Lead, <http://www.lenntech.com/periodic/elements/pb.htm>
- Li, Y., Zeng, X., Liu, Y., YAN, S., Hu, Z., Ni, Y., 2003, Study on the treatment of copper electroplating wastewater by chemical trapping and flocculation, *Separation and Purification Technology*, 31, 91-95.
- Metcalf and Eddy, 2003, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, McGraw-Hill Publication, ISBN 0-07-041878-0, New York , 1819s.
- Mirbagheri, S.A., Hosseini, S.N., 2004, Pilot plant investigation on petrochemical wastewater treatment for the removal of copper and chromium with the objective of reuse, *Desalination*, 171,85-93
- Nathanson, J.A., 1997, *Basic environmental technology*, Prentice Hall, New jersey 440p.
- NLA, 2000, Using lime for acid neutralization, <http://www.lime.org>.
- Plattes M., Bertrand, A., Schmitt, B., Sinner, J., Verstraeten, F.,Welfring, J., 2007, Removal of tungsten oxyanions from industrial wastewater by precipitation, coagulation and flocculation processes, *Journal of Hazardous Materials*, 148, 613-615.
- Pourbaix, 1973, *Lectures on electrochemical corrosion*, Plenum Press, ISBN 0-306-30449, New York-London, 336p.

- Qin, J., Oo, M.H., Kekre, K.A., Knops, F., Miller, P., 2006, Impact of coagulation pH on enhanced removal of natural organic matter in treatment of reservoir water, *Separation and Purification Technology*, 49, 295-298.
- Sağlık Bakanlığı, 2005, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik.
- Samrani, A.G.E., Lartiges, B.S., Villieras, F., 2008, Chemical coagulation of combined sewer overflow: Heavy metal removal and treatment optimization, *Water Research*, 42, 951-960.
- Sawyer, C.N., McCarthy, P.L., Parkin, G.F., 2003, *Chemistry for environmental Engineering and Science*, McGraw-Hill Higher Education, ISBN 0-07-248066-1, New York, 752p.
- Semerjian, L., Ayoub, G.M., 2003, High-pH-Magnesium coagulation-flocculation in wastewater treatment, *Advances in Environmental Research*, 7, 389-403.
- Snoeyink, V., Jenkins, D., 1980, *Water Chemistry*, John Wiley&Sons Inc., Canada, 463p.
- TSE 266, 1997, İnsani tüketim amaçlı sular için Standartlar, ICS 13.060.20, Ankara.
- US EPA, 2001, United States Environmental Protection Agency, *Drinking Water Contaminants*
- Viessman, W., Hammer, M., Perez, E., Chadik, P., 2008, *Water supply and pollution control*, Prentice Hall, New Jersey, ISBN-10 0132337177, 864p.
- Wellmer, E.W., Platen, J.D.B., 2007, Global nonfuel resources and sustainability, <http://pubs.usgs.gov/circ/2007/1294/paper1.html>
- WHO, 1993, *Drinking Water Standards*.
- Yan, M., Wang, D., Qu, J., Ni, J., Chow, C.W.K., 2008, Enhanced coagulation for high alkalinity and micro-polluted water : The third way through coagulant optimization, *Water Research*, 42, 2278-2286.

## 8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşe Akanser

Doğum Yeri : Lefkoşa

Doğum Yılı : 1986

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lisans : 2003-2007 Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği

Y.Lisans : 2007 -..... Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği

Yabancı Dil : İngilizce, Almanca

İş Tecrübesi: -