

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOĞAL MADDELERLE ATIKSULARDAN AĞIR METAL
GİDERİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET CAN ÖZCAN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**DOĞAL MADDELERLE ATIKSULARDAN AĞIR METAL
GİDERİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AHMET CAN ÖZCAN

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

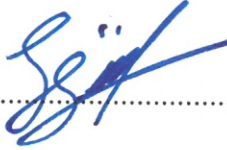
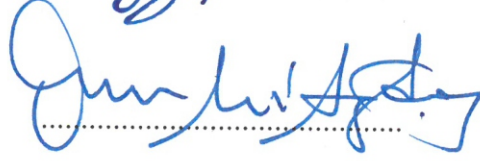
KABUL VE ONAY SAYFASI

Ahmet Can ÖZCAN tarafından hazırlanan “Doğal Maddelerle Atıksulardan Ağır Metal Giderimi” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 23.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy~~ ~~çokluğu~~ ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Levent GÜREL
Pamukkale Üniversitesi


.....

.....

Üye
Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ
Pamukkale Üniversitesi

Üye
Dr. Öğr. Üyesi İlknur ŞENTÜRK
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi


.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
10/09/2019 tarih ve 36/28 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

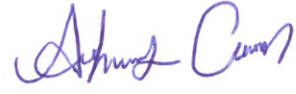

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

AHMET CAN ÖZCAN



ÖZET

DOĞAL MADDELERLE ATIKSULARDAN AĞIR METAL GİDERİMİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
AHMET CAN ÖZCAN
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DR. ÖĞR. ÜYESİ LEVENT GÜREL)

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019

Bu tez çalışmasında kurşun, bakır ve nikel ağır metallerinin, atıksudan kimyasal çöktürme yöntemi ile gideriminde doğal çöktürücü olan kalsine midye kabuğunun (KMK), ticari kimyasal çöktürücüler olan NaOH ve Ca(OH)₂'e alternatif olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla kimyasal çöktürmeye etki eden çöktürücü dozajı ve başlangıç boya konsantrasyonu gibi faktörlerin kimyasal çöktürme verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında Pb²⁺ ağır metal konsantrasyonu yaklaşık 100 mg/L'de sabit tutulup farklı katı ve sıvı KMK dozlarında deneyler yapılmıştır. Sıvı kalsine midye kabuğu için 3,33 mL/L'de %98,36 optimum giderim verimi, katı kalsine midye kabuğu için 0,1 g/L'de %98,79 optimum giderim verimi elde edilmiştir. Farklı başlangıç Pb²⁺ konsantrasyonlarında deneyler yapılmış ve 194 mg/L'de %83,21 ile maksimum giderim verimi elde edilmiştir. Ni²⁺ ağır metal konsantrasyonu yaklaşık 100 mg/L'de sabit tutulup farklı katı KMK dozajlarında deneyler yapılmış ve 0,333 g/L KMK'da %99,19 optimum giderim verimi elde edilmiştir. Nikel iyonu başlangıç konsantrasyon değerlerinin değişiminin incelendiği çalışmalarda yine yaklaşık 100 mg/L konsantrasyonunda %99,67 ile en yüksek giderim verimi sağlanmıştır. Cu²⁺ ağır metal konsantrasyonu yaklaşık 100 mg/L'de sabit tutulup farklı katı KMK dozlarında deneyler yapılmış katı KMK için 0,333 g/L'de %99,30 optimum giderim verimi elde edilmiştir. Farklı başlangıç bakır iyonu konsantrasyonlarında gerçekleştirilen deneylerde ise yine yaklaşık 100 mg/L'de en yüksek değer olan %99,65 maksimum giderim verimine ulaşılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, kalsine midye kabuğunun alternatif bir kimyasal çöktürücü olarak Pb²⁺, Cu²⁺ ve Ni²⁺ ağır metallerini gidermede etkili bir doğal madde olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Atıksu, Ağır Metal Giderimi, Doğal Maddeler, Artık Maddeler

ABSTRACT

REMOVAL OF HEAVY METALS FROM WASTEWATERS BY USING NATURAL MATERIALS

MSC THESIS

AHMET CAN ÖZCAN

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

(SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. LEVENT GÜREL)

DENİZLİ, AUGUST 2019

In this master thesis, the use of calcined mussel shell, which is a natural precipitant in the removal of lead, copper, nickel heavy metals by chemical precipitation method, is used as an alternative to commercial chemical precipitators NaOH and Ca (OH)₂. For this purpose, the effects of factors such as precipitation dosage and initial heavy metal concentration on chemical precipitation efficiency were investigated. In this study, Pb²⁺ heavy metal concentration was kept constant at approximately 100 mg / L and experiments were performed at different doses of solid and liquid KMK. 98.36% optimum removal efficiency was obtained for liquid calcined mussel shell at 3.33 mL / L and 98.79% optimum removal efficiency was obtained at 0.1 g / L for solid calcined mussel shell. Experiments were made at different initial Pb²⁺ concentrations and 83.21% at 194 mg / L obtained as optimum removal efficiency. Ni²⁺ heavy metal concentration was kept constant at approximately 100 mg / L and experiments were performed at different dosages of solid KMK and 99.19% optimum removal efficiency was obtained at 0.333 g / L KMK. Experiments were made at different initial Ni²⁺ concentrations and optimum removal efficiency of 99.67% was obtained at about 100 mg / L. Cu²⁺ heavy metal concentration was kept constant at approximately 100 mg / L and different solid KMK doses were tested for solid KMK at 0.333 g / L 99.30% optimum removal efficiency was obtained. Experiments were performed at different initial Cu²⁺ concentrations and a maximum removal efficiency of 93.41% was obtained at about 100 mg / L. As a result of experimental studies, it was found that calcined mussel shell is an effective natural material for removing Pb²⁺, Cu²⁺ and Ni²⁺ heavy metals as an alternative chemical precipitant.

KEYWORDS: Waste water, Heavy Metal Removal, Natural Materials, Residual Materials

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Ağır Metaller	3
2.1.1 Kurşun (Pb).....	9
2.1.2 Nikel (Ni).....	11
2.1.3 Bakır (Cu)	13
2.2 AĞIR METAL GİDERİMİNDE KULLANILAN BAZI ARITIM YÖNTEMLERİ	14
2.2.1 Adsorpsiyon	14
2.2.2 Membran Filtrasyon.....	15
2.2.3 Elektrokimyasal Giderim	16
2.2.4 İyon Değişimi	16
2.2.5 Koagülasyon – Flokülasyon.....	17
2.2.6 Kimyasal Çöktürme	17
2.2.6.1 Kimyasal Çöktürmeye Etki Eden Faktörler	23
2.3 Ağır Metallerin Atıksudan Uzaklaştırılması İle ilgili Yapılan Çalışmalar.....	24
3. MATERYAL VE METOT	25
3.1 Materyal.....	25
3.1.1 Kullanılan Doğal Materyal ve Özellikleri	25
3.2 Deneysel Çalışmalar	26
3.2.1 Kullanılan Alet ve Teçhizatlar	26
3.2.2 Doğal Çöktürücüye Uygulanan Ön İşlem.....	28
3.2.3 Ağır Metal Çözeltilerinin Hazırlanması	28
3.2.3.1 Kurşun Stok Çözeltisi	28
3.2.3.2 Nikel Stok Çözeltisi	29
3.2.3.3 Bakır Stok Çözeltisi	29
3.2.4 Deneylerin Yapılışı	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1 Kurşun (Pb ²⁺).....	31
4.1.1 Kimyasal Çöktürmeye Sıvı KMK Dozajının Etkisi:	31
4.1.2 Kimyasal çöktürmeye NaOH (0,5 N) Dozajının Etkisi	33
4.1.3 Kimyasal Çöktürmeye KMK (katı) Dozajının Etkisi	36
4.1.4 Kimyasal Çöktürmeye Başlangıç Kurşun (Pb ²⁺) Konsantrasyonunun Etkisi	39
4.2 Nikel (Ni)	42
4.2.1 Kimyasal Çöktürmeye KMK Dozajının Etkisi.....	42
4.2.2 Kimyasal Çöktürmeye NaOH (0,5 N) Dozajının Etkisi	44

4.2.3	Kimyasal Çöktürmeye Ca(OH) ₂ (0,5 N) Dozajının Etkisi	46
4.2.4	Kimyasal Çöktürmeye Başlangıç Nikel Konsantrasyonunun Etkisi	49
4.3	Bakır (Cu).....	51
4.3.1	Kimyasal Çöktürmeye KMK Dozajının Etkisi (0,005 – 0,1 g) ...	51
4.3.2	Kimyasal Çöktürmeye KMK Dozajının Etkisi (0,07 – 0,3 g)	54
4.3.3	Kimyasal Çöktürmeye NaOH (0,5 N) Dozajının Etkisi	56
4.3.4	Kimyasal Çöktürmeye Ca(OH) ₂ (0,5 N) Dozajının Etkisi (0,01–2 mL)	59
4.3.5	Kimyasal Çöktürmeye Ca(OH) ₂ (0,5 N) Dozajının Etkisi (1-10 mL).....	61
4.3.6	Kimyasal Çöktürmeye Başlangıç Bakır Konsantrasyonunun Etkisi (97 – 981 mg/L)	64
4.3.7	Kimyasal Çöktürmeye Başlangıç Bakır Konsantrasyonunun Etkisi (24 – 145 mg/L).....	66
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	69
6.	KAYNAKLAR.....	71
7.	ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Atıksu Arıtım Yöntemleri.....	7
Şekil 2.2: Çeşitli metallerin hidroksit çözünürlüklerinin pH ile değişimi.....	22
Şekil 3.1: (a) Ham midye kabuğu (b) Kalsine midye kabuğu.....	26
Şekil 3.2: (a) pH Metre (b) Hassas Terazî (c) Spektrofotometre (d) Jar Testi.....	27
Şekil 3.3: (a) Kurşun Kiti (b) Nikel Kiti (c) Bakır Kiti.....	30
Şekil 4.1: Kurşun Giderimi için KMK Dozaj Deneyi.....	31
Şekil 4.2: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan KMK (sıvı) dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	32
Şekil 4.3: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan KMK (sıvı) dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği.....	32
Şekil 4.4: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan KMK (sıvı) dozajına göre elde edilen pH grafiği.....	33
Şekil 4.5: Kurşun Giderimi İçin NaOH Dozaj Deneyi.....	34
Şekil 4.6: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	34
Şekil 4.7: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği.....	35
Şekil 4.8: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen pH grafiği.....	35
Şekil 4.9: Kurşun Giderimi İçin KMK (Kati) Dozaj Deneyi.....	36
Şekil 4.10: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan KMK dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	37
Şekil 4.11: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan KMK dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği.....	37
Şekil 4.12: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan KMK dozajına göre elde edilen pH grafiği.....	38
Şekil 4.13: Başlangıç Konsantrasyonunun Kurşun Giderimine Etkisi Deneyi..	39
Şekil 4.14: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan başlangıç kurşun (Pb) konsantrasyonuna göre elde edilen verim grafiği.....	40
Şekil 4.15: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan başlangıç kurşun (Pb) konsantrasyonuna göre elde edilen nihai konsantrasyon grafiği.....	40
Şekil 4.16: Kurşun (Pb ²⁺) için uygulanan başlangıç kurşun (Pb) konsantrasyonuna göre elde edilen pH grafiği.....	41
Şekil 4.17: Nikel Giderimi İçin KMK Dozaj Deneyi.....	42
Şekil 4.18: Nikel (Ni) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	43
Şekil 4.19: Nikel (Ni) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği.....	43
Şekil 4.20: Nikel (Ni) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen pH grafiği.....	44
Şekil 4.21: Nikel Giderimi İçin NaOH Dozaj Deneyi.....	45
Şekil 4.22: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	45

Şekil 4.23: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği.....	46
Şekil 4.24: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen pH grafiği.....	46
Şekil 4.25: Nikel Giderimi İçin Ca(OH) ₂ Dozaj Deneyi.....	47
Şekil 4.26: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N Ca(OH) ₂ dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	47
Şekil 4.27: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N Ca(OH) ₂ dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği.....	48
Şekil 4.28: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N Ca(OH) ₂ dozajına göre elde edilen pH grafiği.....	48
Şekil 4.29: Başlangıç Konsantrasyonunun Nikel Giderimine Etkisi Deneyi.....	49
Şekil 4.30: Nikel (Ni) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen verim grafiği.....	50
Şekil 4.31: Nikel (Ni) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen konsantrasyon grafiği.....	50
Şekil 4.32: Nikel (Ni) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen pH grafiği.....	51
Şekil 4.33: Bakır Giderimi İçin KMK Dozaj Deneyi.....	52
Şekil 4.34: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	52
Şekil 4.35: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği.....	53
Şekil 4.36: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen KMK dozajı- Nihai pH grafiği.....	53
Şekil 4.37: Bakır Giderimi İçin KMK Dozajı Deneyi.....	54
Şekil 4.38: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	55
Şekil 4.39: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği.....	55
Şekil 4.40: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen Nihai pH grafiği.....	56
Şekil 4.41: Bakır Giderimi İçin NaOH Dozaj Deneyi.....	57
Şekil 4.42: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	57
Şekil 4.43: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği.....	58
Şekil 4.44: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen Nihai pH grafiği.....	58
Şekil 4.45: Bakır Giderimi İçin Ca(OH) ₂ Dozaj Deneyi.....	59
Şekil 4.46: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH) ₂ dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	60
Şekil 4.47: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH) ₂ dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği.....	60
Şekil 4.48: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH) ₂ dozajına göre elde edilen Nihai pH grafiği.....	61
Şekil 4.49: Bakır Giderimi İçin Ca(OH) ₂ Dozaj Deneyi.....	62
Şekil 4.50: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH) ₂ dozajına göre elde edilen verim grafiği.....	62

Şekil 4.51: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH) ₂ dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği.....	63
Şekil 4.52: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH) ₂ dozajına göre elde edilen Nihai pH grafiği.....	63
Şekil 4.53: Başlangıç Konsantrasyonun Bakır Giderimine Etkisi Deneyi.....	64
Şekil 4.54: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen verim grafiği.....	64
Şekil 4.55: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen Nihai Bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği.....	65
Şekil 4.56: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen Nihai pH grafiği.....	65
Şekil 4.57: Başlangıç Konsantrasyonun Bakır Giderimine Etkisi Deneyi.....	66
Şekil 4.58: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen verim grafiği.....	67
Şekil 4.59: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen Nihai Bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği.....	67
Şekil 4.60: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen Nihai pH grafiği.....	68

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Ağır Metal Özellikleri (Joseph ve diğ. 2019, USEPA 2019, WHO 2017a, 2017b).....	4
Tablo 2.2: Maden Sanayii (Kadmiyum Metali, Demir ve Demir Dışı Metal Cevherleri ve Endüstrisi, Çinko Madenciliği, (SKKY 2004)	5
Tablo 2.3: Maden Sanayii (Seramik ve Toprakta Çanak-Çömlek Yapımı ve Benzerleri) ((SKKY 2004)).....	5
Tablo 2.4: Cam Sanayii Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları (SKKY 2004).....	5
Tablo 2.5: Atıksuların Atıksu Altyapı Tesislerine Deşarjında Öngörülen Atıksu Standartları (SKKY 2004).....	6
Tablo 2.6: Ağır Metal Giderim Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları (Hamutoplu ve diğ. 2012)	8
Tablo 2.7: Kurşun'a Ait Bilgiler (https://www.lafsozluk.com)	10
Tablo 2.8: Nikel'e Ait Bilgiler (https://www.lafsozluk.com)	12
Tablo 2.9: Bakır'a Ait Bilgiler (https://www.lafsozluk.com)	13
Tablo 2.10: Metallerin Hidroksitlerinin Çözünürlükleri (Tünay, 1996)	21
Tablo 2.11: Metal Sülfürlerinin Çözünürlükleri (Tünay, 1996)	22

SEMBOL LİSTESİ

Pb	:	Kurşun
Cu	:	Bakır
Ni	:	Nikel
NaOH	:	Sodyum Hidroksit
Ca(OH)₂	:	Kalsiyum Hidroksit
DSÖ	:	Dünya Sağlık Örgütü
SKKY	:	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
Cr	:	Krom
KMK	:	Kalsine Midye Kabuğu
Zn	:	Çinko
UF	:	Ultra Filtrasyon
RO	:	Ters Osmoz
As	:	Arsenik
Cd	:	Kadmiyum
Se	:	Selenyum
LM	:	Sıvı Membran
HNO₃	:	Nitrik Asit

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezimin hazırlanması aşamasında sabırla ve ilgiyle çalışmalarına destek ve yol gösterici olan Değerli Tez Danışman'ım Sayın Dr. Öğretim Üyesi Levent GÜREL'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında başta Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ olmak üzere her türlü laboratuvar imkânını sağlayan Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'ne ve bütün Bölüm Hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu yoğun süreçte desteğini her zaman arkamda hissettiğim ve tezimi hazırlarken benim için itici bir güç olan değerli Eşim Esma Nur CESUR ÖZCAN ve değerli aileme teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

Tüm canlılar yaşamlarını sürdürmek için suya ihtiyaç duyar. Su, tüm canlılarda olduğu gibi insan yaşamı için de vazgeçilmez bir unsurdur. Sadece evsel olarak kullanılmasının dışında sanayi alanında da su kullanımı oldukça fazladır. Özellikle son yıllarda nüfusun artmasıyla birlikte teknolojinin gelişmesine paralel olarak sanayi kuruluşları da büyük oranda gelişerek üretim kapasitelerini arttırmaktadır. Dolayısıyla insanların temiz suya olan ihtiyacı daha fazla olmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için yapılan yatırımlarda büyük bir kaynak ihtiyacı oluşturmaktadır. Temiz suyun sanayide kullanımı sonucunda yüksek miktarda atık su ortaya çıkmakta ve temiz su kaynakları hızlı bir şekilde tüketilmektedir. Bu tüketimin verdiği zararları en aza indirmek ve kullanılan suyun arıtılarak ham bir şekilde doğaya verilmesini sağlamak suda yaşayan canlılar ve ekosistemin devamı açısından oldukça önemlidir.

Prosesleri sonucu su kirliliğine neden olan birçok endüstriyel kuruluş vardır. Bunlardan kablo, pil üreten endüstriler, otomotiv sektörü, endüstriyel makine üreten kuruluşlar farklı türde ağır metal kullanmaktadır. Ağır metaller yüksek toksisite ve kanserojen özelliğe sahip olmaları ve hemen hemen hepsinin biyolojik olarak parçalanamaması yüzünden birikme eğilimi göstermektedir. Bu durumda ağır metal içeren atık sular arıtılmadan alıcı ortama deşarj edilmemelidir. Kirli atık sudan ağır metalleri gidermek için kimyasal çöktürme, koagülasyon-flokülasyon, iyon yüzdürme, adsorpsiyon, iyon değişimi ve membran filtrasyonu gibi çeşitli arıtma yaklaşımları kullanılmıştır. Bu yöntemlerden kimyasal çöktürme, proses kontrolünün kolay olması, geniş sıcaklık aralığında ve düşük işletme maliyeti sebebiyle etkin olarak uygulanır. Bu yöntem, ağır metal iyonlarını hidroksit, sülfid, karbonatlar ve diğer az çözünür bileşiklere dönüştürmek için pH ayarlamasını kullanarak, çöktürme, yüzdürme veya süzme gibi fiziksel yollarla giderilebilir. Bu işlemler, giderilecek maddelerin boyutuna, yoğunluğuna ve yüzey yüküne bağlıdır. Ağır metali gidermek için kullanılan yaygın inorganik çöktürücüler kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), kostik soda (NaOH), soda külü (Na_2CO_3), sodyum bikarbonat ($\text{Na}(\text{HCO}_3)_2$), sodyum sülfid (Na_2S) ve sodyum hidro sülfürdür (NaHS) (Chen ve diğ. 2018).

Bu çalışmada, kurşun, bakır ve nikel ağır metallerini içeren atıksulardan bu ağır metallerin kimyasal oktürme yöntemi ile gideriminde, ticari kimyasal oktürücüler olan sodyum hidroksit (NaOH), kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂) ile ucuz ve doğal bir oktürücü olan kalsine midye kabuğu kullanılmıştır. Kalsine midye kabuğu ve diğer ticari kimyasal oktürücülerin ağır metal giderim verimlerinin karşılaştırılması için farklı oktürücü dozajları ve başlangıç ağır metal konsantrasyonlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Ağır Metaller

Su, dünyadaki yaşamın varlığı için son derece önemli bir noktadadır. Ancak dünya genelinde kayda değer sayıda insan yeni ve temiz içme suyunun yokluğundan muzdariptir. Son yüzyılda, antropojenik faaliyetler için su talebi dünya nüfusunun dört kat artması sebebiyle yedi kat artmıştır (Pendergast ve diğ. 2011). Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) Sanitasyon ve İçme Suyu-2015 Güncellemesi ve Bin yıl Kalkınma Hedefleri Değerlendirmesi İlerleme Raporuna göre, 1990'dan bu yana yaklaşık 2,6 milyar insanın iyileştirilmiş bir içme suyu kaynağına erişimi varken, 663 milyon insan hala 2015'te iyileştirilmiş bir içme suyu kaynağına ulaşımı yoktur. Su kıtlığı bulunan bölgelerde yaşayan insan sayısı, Dünya Su Konseyi'nin yaptığı tahmine göre 2030 yılına kadar yaklaşık 3,9 milyara ulaşacaktır (Xu ve diğ. 2018). Ayrıca kentleşme, sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerdeki hızlı gelişmeler neticesinde, mevcut su kaynakları büyük oranda kirliliğe uğramaktadır. Su kirliliğinin nedenlerinin en başında ağır metaller gelmektedir. "Ağır metal", atom yoğunluğu 4000 kg/m^3 'ten büyük veya sudan 5 kat fazla olan metaller ve metaloidler grubunda bulunan ve yerkabuğunun doğal bileşenleri olan genel bir ortak terimdir (Garbarino ve diğ. 1995).

Havaya, içme suyuna, yiyeceklere veya sayısız insan yapımı kimyasal ürün ve ürünler neticesinde çevreye bırakıldıktan sonra, ağır metaller solunum, yutma ve cilt emilimi yoluyla vücuda alınabilmektedir. Ağır metaller vücut dokularına vücudun detoksifikasyon yollarından daha hızlı girerse ve birikirse, bu toksinlerin kademeli olarak birikmesine neden olmaktadır (Kamran ve diğ. 2013). Sonuç olarak bu tür atık sularının çok küçük miktarları bile önemli kirletici kaynak durumunda olup alıcı ortama verilmesi toksik ve kanserojen etkiye sahip olduğu için canlıların ve çevrenin olumsuz etkilenmesine sebep olur. Bu zararlı etkilerinden dolayı ağır metallerin atıksudan uzaklaştırılması çevre ve insan sağlığı için büyük önem taşımaktadır. Tablo 2.1'de bazı ağır metallerin özellikleri verilmektedir.

Tablo 2.1: Ağır Metal Özellikleri (Joseph ve diğ. 2019, USEPA 2019, WHO 2017a, 2017b)

Ağır metal	İnsan sağlığı etkileri	Kaynaklandığı Yerler	Maksimum Kirletici Seviyesi (mg/L)	
			USEPA ^a	WHO ^b
As	Cilt hasarı	Doğal olarak meydana gelen	0,010	0,010
	Dolaşım sistemi sorunları	Elektronik üretimi		
Cd	Böbrek hasarı	Doğal olarak meydana gelen	0,005	0,003
	kanserojen	Çeşitli kimyasal endüstriler		
Cr	Alerjik dermatit	Doğal olarak meydana gelen	0,1	0,05
	İshal, bulantı ve kusma	Çelik imalat		
Cu	Sindirim sorunları	Doğal olarak meydana gelen	1,3	2,0
	Karaciğer veya böbrek hasarı	Ev tesisat sistemleri		
Pb	Böbrek hasarı	Kurşun bazlı ürünler	-	0,01
	Azalan sinir gelişimi	Ev tesisat sistemleri		
Hg	Böbrek hasarı	Fosil yakıt yanması	0,002	0,006
	Sinir sistemi hasarı	Elektronik endüstrisi		

Ağır metallerin çevre ve insan sağlığına olan zararlarından dolayı ülkemizde ağır metallerin alıcı ortama deşarjlarında kısıtlamalar mevcuttur. Bu kısıtlamalar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY) belirlenmiş olup doğal çevre, koruma altında tutulmaktadır. Ayrıca deşarj standartlarına uyulmadığı takdirde ise cezai yaptırımlar da mevcuttur. Atık olarak ağır metaller çoğunlukla maden sanayisinden kaynaklandığı için SKKY'de özellikle "Maden Sanayi Atıksularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları" başlığı altında ağır metallerle özellikle değinilmiştir. Ağır metallerin deşarjı ile ilgili ağır metal atığı oluşan sektörler için deşarj standartları Tablo 2.2, 2.3, 2.4, 2.5'te yer verilmiştir.

Tablo 2.2: Maden Sanayii (Kadmiyum Metali, Demir ve Demir Dışı Metal Cevherleri ve Endüstrisi, Çinko Madenciliği, (SKKY 2004)

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KURŞUN (Pb)	(mg/L)	0.5	-
TOPLAM SİYANÜR (CN ⁻)	(mg/L)	0.1	-
DEMİR (Fe)	(mg/L)	3	-
ÇİNKO (Zn)	(mg/L)	3	-
CİVA (Hg)	(mg/L)	-	0.05
KADMİYUM (Cd)	(mg/L)	-	0,2
BAKIR (Cu)	(mg/L)	5	3
TOPLAM KROM	(mg/L)	2	1

Tablo 2.3: Maden Sanayii (Seramik ve Toprakta Çanak-Çömlek Yapımı ve Benzerleri) ((SKKY 2004))

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KURŞUN (Pb)	(mg/L)	1	-
KADMİYUM (Cd)	(mg/L)	0.1	-
ÇİNKO (Zn)	(mg/L)	3	-

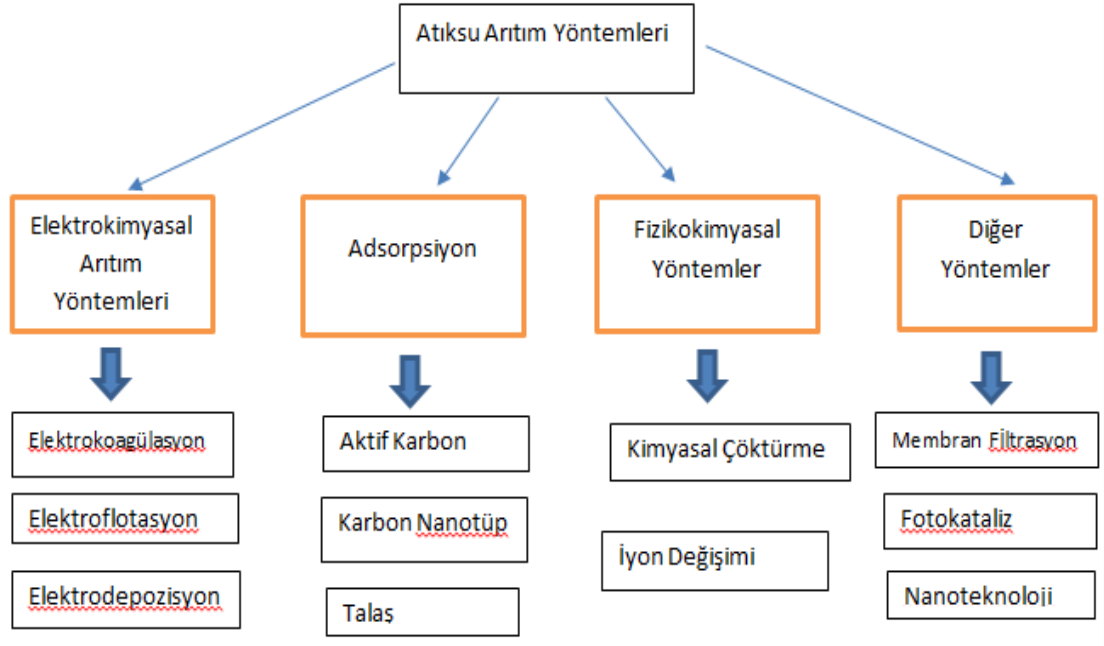
Tablo 2.4: Cam Sanayii Atık Sularının Alıcı Ortama Deşarj Standartları (SKKY 2004)

PARAMETRE	BİRİM	ANLIK NUMUNE	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK
FLORÜR (F ⁻)	(mg/L)	-	30
NİKEL (Ni)	(mg/L)	-	3
GÜMÜŞ (Ag)	(mg/L)	-	1
KURŞUN (Pb)	(mg/L)	-	1.0

Tablo 2.5: Atıksuların Atıksu Altyapı Tesislerine Deşarjında Öngörülen Atıksu Standartları (SKKY 2004)

PARAMETRE	KANALIZASYON SİSTEMLERİ TAM ARITMA İLE SONUÇLANAN ATIKSU ALTYAPI TESİSLERİNDE	KANALIZASYON SİSTEMLERİ DERİN DENİZ DEŞARJI İLE SONUÇLANAN ATIKSU ALTYAPI TESİSLERİNDE
Arsenik (As) (mg/L)	3	10
Toplam siyanür (Toplam CN ⁻) (mg/L)	10	10
Toplam kurşun (Pb) (mg/L)	3	3
Toplam kadmiyum (Cd) (mg/L)	2	2
Toplam krom (Cr) (mg/L)	5	5
Toplam civa (Hg) (mg/L)	0.2	0.2
Toplam bakır (Cu) (mg/L)	2	2
Toplam nikel (Ni) (mg/L)	5	5
Toplam çinko (Zn) (mg/L)	10	10
Toplam kalay (Sn) (mg/L)	5	5
Toplam gümüş (Ag) (mg/L)	5	5

Atıksuların arıtılması işleminde birçok yöntem vardır. Bu yöntemlere Şekil 2.1’de yer verilmiştir.



Şekil 2.1: Atıksu Arıtım Yöntemleri (Azimi ve diğ. 2017)

Atıksu arıtım yöntemlerinin her birinin kendine ait avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu yüzden atıksu arıtım tesislerinde bu avantaj ve dezavantajlar göz önünde bulundurularak verimli bir arıtım gerçekleştirilmeye çalışılır. Tablo 2.6’da bu arıtım yöntemlerine ait avantaj ve dezavantajlar gösterilmiştir.

Tablo 2.6: Ağır Metal Giderim Yöntemlerinin Avantaj ve Dezavantajları (Hamutoplu ve diğ. 2012)

METOT	AVANTAJ	DEZAVANTAJ
Kimyasal Çöktürme ve Filtrasyon	Basit ve Ucuz	Yüksek konsantrasyonlarda zor ayrılma, Etkin değil, Atık çamur oluşumu
Elektrokimyasal Yöntemler	Metali geri elde etme	Pahalı olması, Sadece yüksek konsantrasyonlarda etkin olması
Kimyasal Oksidasyon ve İndirgenme	İnaktivasyon	Ortam hassasiyeti
İyon Değişimi	Etkin arıtım ve saf atık metalin geri kazanımı	Partiküllerin hassas ve reçinelerin pahalı olması
Buharlaştırma	Saf atık elde etme	Fazla enerji gereksinimi, Pahalı olması, Atık çamur oluşumu
Ters Osmoz	Geri dönüşüm için saf atık eldesi	Yüksek basınç, Membran boyutu, Pahalı olması
Adsorpsiyon	Sorbentlerin Aktif karbon olarak kullanımı	Tüm metaller için uygulanamaması

Ağır metallerin giderilmesinde su karakteristiği önemli bir yer tutar. Su kaynağının pH değeri, ağır metallerin varlığı ve özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ağır metallerin sulu çözelti içindeki özellikleri, pH'a oldukça bağlıdır. Nötr ila düşük pH değerlerinde, ağır metaller genellikle katyonik hallerinde bulunurlar ve su kaynaklarında daha çözünür ve hareketli olma eğilimindedirler. pH yükseldikçe, kompleksler suda mevcut olabilecek hidroksit ve diğer anyonlarla oluşmaya başlar. Ağır metallerin bu etkilerinin yanı sıra pH, adsorbanın yüzey yükünü, iyonların adsorbanın fonksiyonel grupları üzerindeki konsantrasyonunu ve adsorbanın iyonlaşma durumunu da etkileyebilir. Bununla birlikte, pH arttıkça, ağır metaller hidroksit iyonları ile kompleksler oluşturur ve böylece ağır metalin oksidasyon

durumunu etkiler (Taşar Ş. 2014). Pek çok durumda, pH nötr seviyesinin üzerine çıktıkça, ağır metaller suda çöken katı maddeler oluşturur. Örneğin krom için; oksidasyon durumunda, Cr (III) 'den daha stabil formu olan Cr (VI)' ya dönüştüğü yani pH arttıkça daha toksik formuna dönüştüğü görülmektedir (Pantsar ve diğ. 2001) Bununla birlikte, pH arttığında, adsorbatın yüzeyi daha negatif yüklü hale geldiğinden ve pozitif yüklü ağır metallerle daha kolay etkileşime girdiğinden adsorpsiyon sıklıkla artmaktadır. Bu fenomen çok çeşitli adsorbatlar kullanılarak gözlemlenmiştir. Ağır metal iyonlarının çoğunun adsorpsiyonla uzaklaştırılması, düşük pH değerlerinde (<3) minimumdur (Bozbaş, 2016). Tüm bu bilgiler ve çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda ağır metallerin sudan uzaklaştırılması için pH önemli bir rol oynamaktadır. Düşük pH'lar ağır metal giderim performansını azaltmaktadır.

Sıcaklık, ağır metallerin arıtılması değerlendirilirken dikkate alınması gereken diğer önemli bir parametredir. Ağır metallerin giderilmesi için belirlenen mekanizmaların çoğu, yüzey kompleks reaksiyonları ve çeşitli iyon değişim formları dahil olmak üzere daha yüksek sıcaklıklarda gelişmektedir (Chen ve diğ. 2010). Sıcaklığın bazı durumlarda ağır metal giderim verimini düşürdüğü de görülmektedir. Bu nedenle, sıcaklığın ağır metallerin uzaklaştırılması üzerindeki etkilerini değerlendirirken, her adsorban ve karşılık gelen metal iyonu, sıcaklık değişimlerinin adsorpsiyon süreci üzerindeki genel etkisini belirlemek için özel olarak değerlendirilmelidir.

2.1.1 Kurşun (Pb)

Kurşun elementi periyodik cetvelin 4 A grubunda bulunan ve doğadaki bilinen ismiyle galen yani kurşun sülfür formunda veya demir, çinko, bakır, gümüş ve antimon metalleriyle bileşik halde bulunur (Dündar ve Aslan, 2005). Kurşun elementine dair bilgiler Tablo 2.7'de gösterilmiştir.

Tablo 2.7: Kurşun'a Ait Bilgiler (<https://www.lafsozluk.com>)

Sembol	Pb
Atom Numarası	82
Atom Ağırlığı	207,2
Erime Noktası	327,5 °C
Kaynama Noktası	1740 °C
Sınıfı	Ağır Metal
Yoğunluk (293 K)	11,34 g/cm ³
Renk	Mavimsi
Grup	Metal
Kristal Yapısı:	Kübik merkezli yüzey
Proton Sayısı:	82
Nötron Sayısı:	125
Elektron Sayısı:	82
Atomik Hacim:	18.17 cm ³ /mol
Radyoaktivlik:	Hayır
Bozunma şekli:	Bozunma yok
Oksidasyon Durumu:	4,(2)
Yer kabuğundaki bolluk:	0.001%
Deniz suyundaki bolluk:	3×10 ⁻⁹ %
İnsan vücudundaki miktarı:	0.00017%
Manyetiklik:	Diyamanyetik

Kurşun ağır metal olması nedeniyle dikkat ve takip edilmesi gereken bir kirleticidir. Ancak çevreye zararlı etkileri bilinmesine rağmen kullanımı endüstriyelleşme ile birlikte artmıştır. Endüstriyelleşme sebebiyle biyosferdeki kurşun artışı, araştırmacılar materyaller üzerindeki kurşun konsantrasyon çalışmaları ile gözlemleyebilmektedir. Bu çalışmaların en açıklayıcıları arasında, Grönland'daki buzulların çeşitli derinliklerinde kurşun konsantrasyonunu ölçen Murozumi ve meslektaşları yer almaktadır. Çalışmaları İ.Ö. 800-1740 yılları arasında kurşun içeriğinde hafif bir artış olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, 1740'dan başlayarak

sanayileşme döneminin başında kademeli bir artış kaydedilmiştir. 1930'larda, artış oranı aniden çok daha hızlı hale gelmiştir ve bu kurşunun benzin katkı maddesi olarak kullanımının yaygınlaştığı zamanlara denk gelmektedir (Pionelli ve diğ. 1984). Kurşun, antik çağın başlıca ağır metallerinden biridir ve güçlü bir çevresel kirletici olarak büyük önem kazanmıştır. Doğal ayrışma sürecinin yanı sıra, çevrenin kurşun kontaminasyonu, madencilik ve eritme faaliyetlerinden, kurşun içeren boyalardan, benzin ve patlayıcılardan ve kurşun bakımından zenginleştirilmiş belediye kanalizasyon atıklarının bertarafından kaynaklanmıştır (Sharma ve Dubey 2005).

Kurşun ağır metalinin içerdiği kirlilik sebebiyle insan bünyesine de zararı mevcuttur. Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) raporuna göre yetişkinler için 30 µg/dl üzerindeki kurşun düzeyi ciddi anlamda zararlıdır. Kurşun zehirlenmesi yaşayanlarda demir eksikliğinden kaynaklı anemi, kurşun felci, duyu organlarındaki bozukluklar, beyinsel bozukluklar, eklem ve baş ağrısı, mide bağırsak semptomları meydana gelmektedir (Erdem, 2014). Alıcı ortama verilen kurşun içeren atık suların verildiği bölgedeki bitkiler veya canlılar tarafından emilmesi, insanların da bu bitki ve canlıları tüketmesi sonucunda da kurşun insan vücudu tarafından emilmektedir. Tüm bu etkileri göz önünde bulundurulduğunda kurşun dikkat edilmesi gereken bir parametredir.

2.1.2 Nikel (Ni)

Gümüş beyaz, sert ve yumuşak bir metal olan nikel, tahminen %0.008 konsantrasyona sahip olan yer kabuğundaki 24. en bol elementtir. Nikel, 58.71 atom kütlesi ile 28 atom sayısına sahiptir (Coman ve diğ., 2013). Nikele ait bilgiler Tablo 2.8'de gösterilmektedir.

Atıksuda bulunan biyolojik olarak çözünmeyen ağır metal türüdür. Baskı sanayi, elektrik endüstrisi, gümüş rafinerileri, pil imalat sanayii, nikel metaline tabi alaşım gibi endüstriler tarafından kullanılır. Nikel, kataliz, madeni para, mücevher, akü, alaşım, direnç telleri, makine parçaları vb. gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır. Nikelin yüksek miktarda kullanımı çeşitli çevre sorunlarına yol açar. Nikelin etkileri kuru bir öksürük, göğüs ağrısı, solunum problemi, bulantı, ishal, cilt döküntüsü, pulmoner fibroz, gastrointestinal ağrı, böbrek ödemi vb. şeklindedir (Carolin ve diğ. 2017).

Tablo 2.8: Nikel'e Ait Bilgiler (<https://www.lafsozluk.com>)

Sembol	Ni
Atom Numarası	28
Atom Ağırlığı	58,69
Erime Noktası	1455 °C
Kaynama Noktası	2913 °C
Sınıfı	Ağır Metal
Yoğunluk (293 K)	8,908 g/cm ³
Grup:	Geçiş metali
Kristal Yapısı:	Kübik merkezli yüzey
Proton Sayısı:	28
Nötron Sayısı:	31
Elektron Sayısı:	28
Radyoaktiflik:	Hayır
Bozunma şekli:	Bozunma yok
Yer kabuğundaki bolluk:	0.009%
Deniz suyundaki bolluk:	2×10 ⁻⁷ %
İnsan vücudundaki miktarı:	0.00001%
Manyetiklik:	Ferromanyetik

Bitkiler nikeli absorbe ederek bünyelerine alır, sebze ve meyvelerden ekolojik döngüyle canlıların vücutlarına nikel alımı yüksektir. Nikelle kirlenen toprak veya su deriyle temas ettiğinde de nikel maruz kalınabilir. Nikelin az miktarda alınması vücut için gerekli olsa da aşırı dozda alınırsa insan sağlığı için tehlikeli olabilir. Nikel ve belirli nikel bileşenleri ciddi anlamda kanserojen olarak kabul edilen malzemeler listesinde bulunmaktadır. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) nikel bileşenlerini grup 1'de (İnsanlarda kansere yol açtığına dair yeterli kanıt bulunan), nikeli grup 2B'de (İnsanlarda kansere yol açma olasılığı bulunan) listelemiştir (Seven ve diğ. 2018) Bu hususlar dikkate alındığında nikel metali dikkat ve takip edilmesi gereken bir parametredir.

2.1.3 Bakır (Cu)

Bakır (Cu) 1B geçiş grubu elementi olan, periyodik cetvelde simgesi (Cu) olarak gösterilen kırmızı ya da kahverengi görünümlü metaldir. Bakır'a ait bilgiler Tablo 2.9'da gösterilmektedir.

Tablo 2.9: Bakır'a Ait Bilgiler (<https://www.lafsozluk.com>)

Sembol	Cu
Atom Numarası	29
Atom Ağırlığı	63,54
Erime Noktası	1083,4 C
Kaynama Noktası	2567 C
Sınıfı	Ağır Metal
Yoğunluk (293 K)	8,93 g/cm ³
Grup:	Geçiş metali
Kristal Yapısı:	Kübik merkezli yüzey
Proton Sayısı:	29
Nötron Sayısı:	35
Elektron Sayısı:	29
Radyoaktivite:	Hayır
Bozunma şekli:	Bozunma yok
Yer kabuğundaki bolluk:	0.0068%
Deniz suyundaki bolluk:	3×10^{-7} %
İnsan vücudundaki miktarı:	0.0001%

Bakır çevreye bakır ve diğer metallerin madenciliğinden ve metalik bakır veya bakır bileşiklerini üreten veya kullanan endüstrilerden geçiş yapabilir. Bakır insanlar için vazgeçilmez bir unsurdur. Kırmızı trombositlerde hemoglobin oluşumunda önemlidir. Cu (I), hemoglobinin aktivitesine benzeyen oksijen iletimi için uygun enzimlerde bulunur. Tendonları ve kıkırdakları güçlendirmeye yardımcı olmaktadır. Cu ayrıca birkaç enzimin doğru çalışmasında kullanılır. Ancak serbest bakır iyonları yani Cu (II), amfibi hayatındaki en zararlı bakır türlerinden biridir (Vardhan ve diğ. 2019).

Bakır genellikle atık sularında yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Çünkü metal kaplama, elektro kaplama, plastik ve dağlama gibi birçok endüstriyel uygulamada en değerli ve en çok kullanılan metal olarak kabul edilir. Ayrıca, bakır, düşük konsantrasyonda bile çok toksik bir metaldir ve bakırla kirlenmiş atık su, çevreye boşaltılmadan önce arıtılmalıdır (Al-Saydeh ve diğ. 2017).

Bakır'ın çok sayıda detaylı zararlarına ilişkin örneklere bakıldığında, intihar girişimleri ile bakırın bağlantılı olduğu görülmüştür. 20 g'ı aşan bir dozajda çok fazla Cu yutulması, başlangıç döneminde sersemlik, tembellik ve beyin ağrısına neden olabilir. Ortaya çıkan yan etkiler epigastrik eziyet, gastrointestinal kanama, ishal, taşikardi, hematüri, solunum güçlüğu, hemolitik anemi, karaciğerde hepatoselüler bezeme, böbrek kanallarında çürümeler ve en son ölüme kadar varabilir (Vardhan ve diğ. 2019).

2.2 AĞIR METAL GİDERİMİNDE KULLANILAN BAZI ARITIM YÖNTEMLERİ

2.2.1 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon yöntemi, ağır metallerin giderimi için uygun bir teknik olarak kabul edilmiştir. Adsorpsiyon tekniği, bir adsorbent yüzeyine çözünür sıvıların ve gazların eklenmesini içerir. İki ana adsorpsiyon türü vardır. Fizikosorpsiyon, adsorbe edilmiş ve adsorbent materyalinin eklenmesi ve Van der Waals kuvveti tarafından giderilmesi ile meydana gelir. Diğer yandan, kemisorpsiyon, adsorbat molekülleri adsorbent yüzeyine kimyasal bağlanma ile bağlandığında meydana gelir. Adsorpsiyonun kalitesi, adsorpsiyonun özelliklerine bağlı olan adsorpsiyon kapasitesine bağlıdır. Örneğin, yüzey yükü, yüzey alanı ve fonksiyonel gruplar farklı kirleticilerle farklı seviyelerde aktivite üretebilir. Modifiye çitosan, manganez oksitler, yer fıstığı kabukları, turba, arıtma çamur külü, tanecikli biyokütle, uçucu kül dahil olmak üzere ağır metallerin giderilmesi için çeşitli adsorbent tipleri kullanılmıştır. Bununla birlikte, bu adsorbentlerin tümü, düşük adsorpsiyon kapasitesi ve ağır metallerin giderilmesinde düşük etkinlik ve verim seviyeleri gibi bazı sınırlamalardan

muzdariptir. Bu nedenle yeni ve daha iyi adsorbentler bulmak için araştırmalar devam etmektedir (Fiyadh ve diğ. 2019).

2.2.2 Membran Filtrasyon

Tarihsel olarak ağır metallerin membran bazlı yöntem kullanılarak giderilmesi, Bhattacharyya ve arkadaşlarının (1978) Cu (II), Ni (II) ve Zn (II) iyonlarını içeren elektrokaplama suyunun arıtılması için ultrafiltrasyon (UF) membran kullanılmasının fizibilitesini araştırmasıyla başlamıştır. Aynı yıl, Sato ve arkadaşları (1977) Cr ve siyanür içeren metal kaplama atık suyunun arıtılması için bir ters ozmoz (RO) membranının etkin bir şekilde kullanıldığını bildirmiştir. Ayrıca Kosarek (1981) As (V), Cd (II), Pb (II), Hg (II), Ni (II) ve Se (II) 'nin galvanik atık sudan giderilmesi için şelatlayıcı bir ligand ile bir UF prosesini entegre etmiştir. Bu öncü çalışmalar, ağır metal iyonlarının farklı membran prosesleri ile elimine edilmesinde olumlu sonuçlar vermiştir. Bu nedenle, membran filtrasyon işlemlerinin giderim etkinliğini daha da arttırmak için araştırmalar devam etmektedir. Bununla birlikte su ve atık su arıtımı için farklı tiplerde gözenekli ve ince film kompozit membranlar kullanılabilir. Bunlar, düşük basınçla çalışan (mikrofiltrasyon, UF, damıtma), yüksek basınçla çalışan (nanofiltrasyon (NF) ve RO), ozmotik basınçla çalışan membran işlemini (ileri ozmoz (FO)) ve diğer membran proseslerini (elektrodiyaliz (ED), Sıvı membran (LM) vb.) içerir. Membranların sulu ortamda uygulanması için göz önünde bulundurulması gereken temel faktörler, gözenek büyüklüğü, gözenek dağılımı, yüzey yükü, hidrofilitik derecesi, çözelti akışı ve ayırma işlemine yardımcı olan fonksiyonel grupların varlığıdır. Bu özellikler, su üretim hızı ve ağır metal giderme etkinliği bakımından genel membran performansını önemli ölçüde etkiler (Abdullah 2019).

2.2.3 Elektrokimyasal Giderim

Elektrokimyasal yöntemler, özellikle ağır metal iyonlarının endüstriyel atık sularından uzaklaştırılmasında son derece etkili bir atıksu arıtma yöntemi olarak bilinmektedir. Bu yöntem, elektrokimyasal hücrede anodik ve katodik reaksiyonları kullanarak, elementlerin metalik durumunda ağır metallerin geri kazanılmasını içerir. Bu yöntem, geniş endüstriyel uygulamalarını sınırlayan büyük miktarda sermaye yatırımı ve daha fazla güç kaynağı gerektirmektedir. Atık suların çevreye deşarjına yönelik katı çevresel kurallar ve düzenlemeler nedeniyle, elektrokimyasal yöntemler bu araştırma alanında çalışacak birçok bilim insanı ve araştırmacının ilgisini çekmiştir. Elektrokimyasal yöntemlerin bazıları, elektro-koagülasyon, elektro-depozisyon ve elektro-flotasyon teknikleri, ağır metal iyonlarının atık sudan uzaklaştırılmasında kullanılmıştır (Vardhan 2019).

2.2.4 İyon Değişimi

İyon değiştirme işlemi, katı ve sıvı fazlar arasında geri dönüşümlü bir iyon değişimidir. Katı faz, bir iyon değiştirici veya iyon değiştirici reçine olarak adlandırılır ve sıvı fazda çözünmez olduğu için, değiştirilebilir iyonları taşır ve reaksiyon sırasında önemli yapısal değişikliklere uğramaz. İyon değiştiricilerin benzersiz özellikleri, genel tanımlarına göre karşıt iyonlar olarak bilinen zıt iyonlarla telafi edilen pozitif veya negatif bir artı yükü taşıyan yapılarından kaynaklanmaktadır. Karşı iyonlar serbestçe hareket ettiğinden, aynı işarete sahip diğer iyonlar tarafından kolayca değiştirilebilirler. İyon değiştiricideki karşı iyon içeriği, iyon değişim kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Levchuk 2018). İdeal iyon değiştirici aşağıdaki gereksinimleri karşılamalıdır:

- Hidrofilisite
- Kimyasal ve fiziksel stabilite
- Nispeten yüksek iyon değişim hızı
- Yeterli iyon değişim kapasitesi
- Uygulama için yeterli partikül büyüklüğü ve etkili yüzey alanı
- Ekonomik fizibilite (Harland, 1994)

2.2.5 Koagülasyon – Flokülasyon

Koagülasyon-flokülasyon, ağır metallere yüklü atık suları arıtmak için kullanılabilir. Prensip olarak, koagülasyon işlemi bir koagülant ekleyerek kolloidal parçacıkları kararsızlaştırır ve çöktürme ile sonuçlanır. Parçacık boyutunu artırmak için, koagülasyonu dengesiz parçacıkların flokleşmesi izler. Bu teknik için genel yaklaşım, pH ayarını içerir ve parçacıklar arasındaki itici kuvvetlerin üstesinden gelmek için koagülant olarak ferrik / alum tuzlarının eklenmesini içerir (Kurniawan 2006). Asidik ve bazik karakterdeki atıksuların nötralizasyon işlemi ile uygun pH değerine ayarlanmasının ardından çöktürme işlemi için sırasıyla aşağıdaki uygulamalar gerçekleştirilir:

- Koagülasyon; Koagülantların atıksuya ilave edilmesini takiben hızlı bir şekilde atıksuya karıştırılmaları ve atıksuyun bünyesindeki kolloidal ve askıda katı maddelerle birleşerek flok oluşturmaya hazır hale gelmesi işlemi,
- Flokülasyon; Atıksuyun yavaş ve uygun şekilde bir süre karıştırılarak küçük tane ve pıhtıların büyümesi, birbirleriyle birleşmesi, yumaklaşması ve böylece kolayca çökebilecek flokların meydana gelmesi işlemidir (Kolat 2008).

2.2.6 Kimyasal Çöktürme

Kimyasal çöktürme, ağır metallerin atık sudan uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanılır, çünkü ucuzdur ve kullanımı nispeten kolaydır. Kimyasal çöktürme ile çöktürücü madde eklenecek ve atık suyun pH'ı başlangıçtaki bazik koşullara ayarlanacaktır. Çöktürücü madde, çözünmeyen çöktürücüleri oluşturmak için atık sudaki ağır metal iyonlarıyla reaksiyona girer. Oluşan çöktürücüler çöktürme veya süzme işlemleriyle ayrılabilir. Geleneksel kimyasal çöktürme işlemleri arasında sülfür çöktürmesi ve hidroksit çöktürmesi bulunur. Hidroksit çöktürme işlemi, düşük maliyet, basitlik ve pH kontrolü kolay olduğu için ağır metallerin endüstriyel atık sulardan uzaklaştırılmasında kullanılan en yaygın kimyasal çöktürme teknikleridir (Balturvins ve diğ., 1997). Farklı metal hidroksitlerin çözünürlüğü, pH 8.0-11.0 aralığında sınırlıdır. Oluşan metal hidroksitleri çöktürme işlemlerinin ardından topaklaşma ile ayrılabilir. Ağır metallerin atık sudan elde edilmesi kolay ve düşük maliyetli olarak çöktürülmesi için farklı tiplerde hidroksit kullanılmıştır. Kireç,

endüstriyel atık su arıtımının çoğunda önemli bir hidroksit çöktürücü madde olarak kullanılmıştır.

Hidroksit çöktürme işleminde, alum, demir tuzları ve organik polimer gibi kimyasal pıhtılaştırıcıların eklenmesi, ağır metallerin su / atık sudan uzaklaştırılmasını artırabilir. Hidroksit çöktürmesinin yaygın olarak kullanılmasına rağmen, endüstriyel uygulamadaki sınırlandırma, susuzlaştırma ve bertaraf sorunlarına neden olan düşük yoğunluklu çamurların büyük hacimlerinin üretilmesi nedeniyledir (Vardhan 2019).

Tipik bir kimyasal çöktürme yöntemi dört aşamayı içerir:

- Reaktiflerin eklenmesi, çökeltiyi oluşturmak için pH'ın ayarlanması;
- Flokülasyon;
- Sedimantasyon;
- Katı-sıvı ayrımı.

Çözünme ve çözelti kinetiği incelendiğinde çökeltme işlemi 3 adımdan oluşur. Bu adımlar çekirdek oluşumu, kristal gelişmesi ve olgunlaşmadır.

Çekirdek oluşumu:

Çekirdek, üzerinde katı fazın oluşmaya başladığı genellikle çok küçük partiküllerdir ve çökelen maddenin molekül grupları veya iyon çiftlerinin bir araya gelmesinden oluşabileceği gibi, kimyasal yapı olarak çökecek madde ile ilgisi olmayan ancak kristal yapısı olarak çökecek maddeye benzerlik gösteren yabancı maddelerden oluşabilir. Eğer çekirdek çökelen maddeden oluşuyorsa çökeltme başlangıcı homojen çekirdek oluşumu, diğer maddelerden oluşuyorsa heterojen çekirdek oluşumu olarak adlandırılır. Hemen hemen bütün sularda özellikle su ve atıksu arıtımında çekirdek oluşumu heterojendir. Çekirdek oluşumu, düzenli bir kristal yapının kurulmasını gerektirdiğinden enerji sarf edilen bir işlemdir ve bu işlemin başlaması için bir enerji, dolayısıyla bir itici güç gerekir. Bu itici güç çözeltinin aşırı doymun olması ile sağlanır (Tünay, 1996).

Kristal Gelişmesi:

Kristal gelişimi, oluşan çekirdek üzerine çökecek maddenin birikimi ile gerçekleşir. Su ve atıksu arıtma proseslerinde denge haline genellikle erişilmediğinden kristal gelişme hızının belirlenmesi önem taşır (Tünay, 1996).

Olgunlaşma:

Oluşan kristal, ilk safhada, termodinamik olarak en kararlı yapıda olan kristal değildir. Kristal yapısı maddelerin çözünürlüğünü de etkiler. Kristal yapının değişimi “olgunlaşma” olarak tanımlanır. Kristal büyüdükçe olgunlaşma olayı hız kazanır. Olgunlaşma, büyük partikül çapına sahip olan kristallerin yüzey enerjilerinin daha az olması ve çözeltilerde daha düşük konsantrasyon ile dengede bulunması sonucu oluşur (Tünay, 1996).

Çözünme Kinetiği:

Çözünme olayı çözünen maddenin katılardan uzaklaşması olayı ile kontrol edilir. Çözünme, ayrıca katı yüzeyinde oluşan yüzey komplekslerinden de etkilenebilir (Tünay, 1996).

Sıcaklığın Çözünürlüğe Etkisi:

Sıcaklık hem çökelme olayının denge sabitini hem de çökelme reaksiyon hızını etkileyerek çözünürlüğü değiştirir. CaCO_3 , CaSO_4 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, FePO_4 gibi belirli maddeler dışında çözünürlük sıcaklıkla artar.

Kimyasal çöktürme reaksiyonlarının mekanizması oldukça komplekstir. Verilen reaksiyonlar olayın sadece belli bir kısmını açıklar ve reaksiyonların verildiği şekilde cereyan etmesi de zorunlu değildir. Çoğunlukla bu reaksiyonlar tam değildir ve atıksudaki diğer maddelerle çeşitli yan reaksiyonlar da meydana gelir. Bu nedenle kimyasal çöktürmenin mekanizmasını açıklayan hususlar aşağıda kısaca özetlenmiştir (Tünay, 1996).

Tanecik agregasyonu:

Taneciği agregasyona uğratmak için tanecik yükünü azaltmak veya bu yükün etkisini ortadan kaldırmak gereklidir. Bu işlem üç yolla yapılabilir:

a. Yüzeysel yükü azaltmak üzere kolloid ile reaksiyona girebilecek veya alınabilecek potansiyel belirleyen iyonların veya zeta potansiyelini azaltmaya yarayan elektrolitlerin ilavesi

b. Uzun zincirli organik moleküllerin (Polimerlerin) ilavesi. Polielektrolit olarak tanımlanan elektriksel yüklü polimerler çözeltideki koloidal tanecikleri adsorbsiyon ve bağlama yoluyla uzaklaştırır.

c. Hidrolize metal iyonlarını teşkil eden kimyasal maddelerin ilavesi. Metal oksitlerin veya hidroksitlerin yüklerini sıfıra kadar azaltmak üzere kuvvetli asitlerin veya bazların ilavesi sonucu pıhtılaştırma meydana gelebilir. (Evliya, 1994)

Kimyasal Çöktürmenin Kimyası ve Atıksu Arıtımında Kullanılan Kimyasallar

Yıllardan beri çeşitli kimyasal maddeler kimyasal çöktürücü olarak kullanılmaktadır. Kimyasal çöktürme ile %80-90 süspans katı madde giderme, %40-70 BOİ giderme ve %80-90 bakteri giderme verimleri elde edilir. Sadece çöktürme işlemi kullanıldığında %50-70 toplam süspans katı madde giderme ve %30-40 organik madde giderme verimleri elde edilebilmektedir. Atıksuya ilave edilen kimyasal maddeler atıksuyun içindeki bileşenlerle reaksiyona girerler. Reaksiyonlar alümin, kireç, demir(II) sülfat ve kireç, demir(III) klorür ve kireç, demir(III) sülfat ve kireç ile gerçekleştirilir (Şengül, 1990).

Metal Tuzları ile Polimer Teşkili:

Elektrolitler ve polimerler gibi kimyasal maddelerin ilavesi ile oluşan agregasyona kıyasla, alümin ve demir (III) sülfat ilavesi ile oluşan agregasyon çok daha karmaşıktır. Geçmişte serbest Al^{3+} ve Fe^{3+} 'ün tanecik agregasyonu için yeterli olduğu düşünülüyor ancak bunların hidroliz ürünleri bilinmiyordu. Bu hidroliz ürünlerinin etkilerinin yeni keşfedilmesine rağmen hidroliz reaksiyonları 1900'lerde Pfeiffer tarafından 1907'de de Werner tarafından bulunmuştu.

Kimyasal Çöktürmeyle Metallerin Arıtılması

Ağır metallerin kimyasal çöktürme ile arıtımı, ağır metaller atıksularda çoğunlukla birlikte bulunduğundan, çoğu ağır metalin ortak güç çözünen tuzlarının oluşturulmasına dayanır. Hemen hemen bütün ağır metallerin çözünürlüğü çok az olan ortak tuzları, hidroksitler ve sülfürlerdir. Bu nedenle kurşunun karbonatla çöktürülmesi gibi bazı ağır metallerin çöktürülmesi ve özel durumlarda diğer güç çözünen tuzlarının oluşturulmasına dayanan yöntemler dışında, metallerin kimyasal

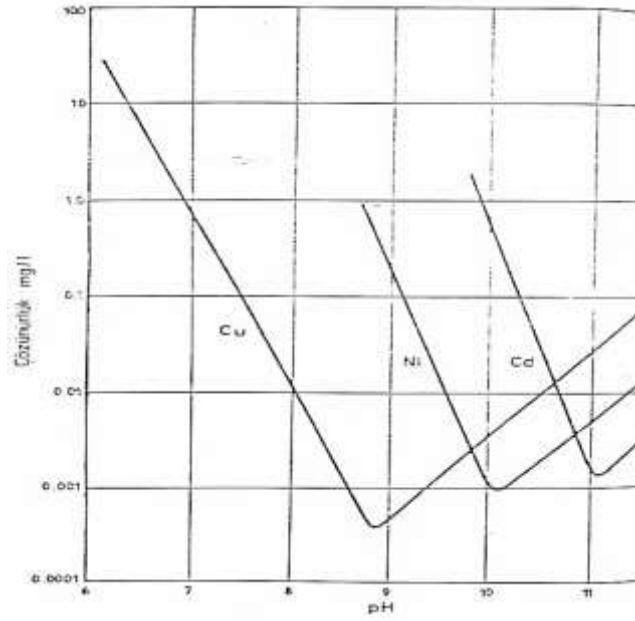
çöktürmeyle arıtılmasında hidroksit çöktürmesi ve sülfür çöktürmesi kullanılmaktadır. Bunlardan hidroksit çöktürmesi uygulama kolaylığı, ekonomik olması ve çamur uzaklaştırmasının kolaylığı açısından daha yaygın bir uygulamaya sahiptir.

Hidroksit çöktürmesi:

Hidroksit çöktürmesi ağır metallerin hidroksitlerinin çözünürlüğünün çok düşük olmasına dayanır. Metaller arasında hidroksit olarak çöktürülemeyen en önemli istisna +6 değerlikli kromdur. Hidroksit çöktürmesinin uygulanabilmesi için metallerin serbest halde veya zayıf komplekslerle bağlı olmaları gerekir. Kuvvetli komplekslerle bağlı olan metal iyonları yüksek pH'ta hidroksit çöktürmesi uygulaması ile veya diğer yöntemlerle arıtılabilirler. Bazı metal hidroksitlerinin çözünürlük çarpımları ve çeşitli metallerin hidroksit çözünürlüklerin pH ile değişimi Tablo 2.10 ve Şekil 2.2'de verilmiştir (Tünay, 1996).

Tablo 2.10: Metallerin Hidroksitlerinin Çözünürlükleri (Tünay, 1996)

Hidroksit	25 °C'de pK_ç
Cu(OH) ₂	19,3
Pb(OH) ₂	14,3
Zn(OH) ₂	17,2
Cd(OH) ₂	13,7
Ni(OH) ₂	15,7
Cr(OH) ₂	30,2



Şekil 2.2: Çeşitli metallerin hidroksit çözünürlüklerinin pH ile değişimi (Tünay, 1996)

Sülfürle çöktürme:

Metal sülfürlerinin çözünürlükleri metal hidroksitlerinde daha azdır. Suya sülfür iyonları ilave edilince metal sülfürleri çökerler. Metal sülfürlerin çözünürlüğü de pH'a bağlıdır. Ancak metal sülfürlerin çözünürlüğü artan pH ile azalır ve hidroksitlerin aksine optimum pH oluşumu görülmez. Sülfürle çöktürme suda kuvvetli kompleks yapıcılar bulunduğu da uygulanabilir. Sülfür, çoğu kompleksten metal iyonlarını ayırarak çöktürür. Bazı metal sülfürlerin çözünürlüğü Tablo 2.11'de verilmiştir (Tünay, 1996).

Tablo 2.11: Metal Sülfürlerinin Çözünürlükleri (Tünay, 1996)

Metal Sülfür	25°C pK _ç
CuS	35,0
PbS	27,0
ZnS	21,5
CdS	26,1
NiS	18,5

Kimyasal Çöktürmenin Avantaj ve Dezavantajları

Kimyasal çöktürme hem evsel hem de endüstriyel atıksulardan kirleticileri gidermede kullanılabilir. Kimyasal çöktürmenin kullanılmasına karar verilmeden önce bu metodun avantaj ve dezavantajlarının iyi bir şekilde anlaşılması önemlidir.

Kimyasal çöktürmenin avantajları;

- a. Kimyasal çöktürme hazır teçhizat ve çoğu kimyasalların mevcudiyetiyle birlikte iyi tesis edilmiş bir teknolojidir.
- b. Bazı arıtım kimyasalları, özellikle de kireç çok ucuzdur.
- c. Tam anlamıyla kuşatılan sistemler, sıklıkla elverişli bir şekilde kendi kendine çalışır ve düşük bakım maliyeti sadece kullanılan kimyasalların yeniden doldurulmasını gerektirir. Çoğu zaman, bilgili operatöre gerek yoktur ((EPA, 2000)).

Dezavantajları;

- a. Rekabet eden reaksiyonlar, alkalinite ve diğer faktörlerin değişen seviyeleri tipik bir şekilde uygun kimyasal dozajların hesaplanmasını imkânsız kılmaktadır.
- b. Kimyasal çöktürme aşındırıcı kimyasallarla çalışmayı gerektirebilir bu da operatörün güvenlik sorunlarını artırır.
- c. Arıtım kimyasallarının eklenmesi, özellikle kireç, atık çamur hacmini %50'nin üzerine çıkarabilir.
- d. Kimyasalların büyük miktarlarının, arıtım yerine nakledilmesi gerekebilir.
- e. Polimerler pahalı olabilir. (EPA, 2000)

2.2.6.1 Kimyasal Çöktürmeye Etki Eden Faktörler

Kimyasal çöktürmeye etki eden birçok faktör vardır. Bunlara atıksuyun pH'ı, kimyasal içeriği, kimyasal çöktürücünün türü, kullanım dozajı gibi faktörler örnek olarak gösterilebilir. Kimyasal çöktürücülerin atıksudan ağır metal gideriminde

yüksek miktarlarda kullanılması ve operasyonel sorunlarından dolayı kimyasal çöktürme işleminde doğal maddelerin kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

2.3 Ağır Metallerin Atıksudan Uzaklaştırılması İle ilgili Yapılan Çalışmalar

Ghosh ve diğerlerinin (2011) Zn^{2+} ağır metalinin CaO ile giderilmesinin incelenmesi deneyinde, başlangıç metal konsantrasyonu 32 mg/L olan deneyde pH 9-10'da %99-99,3 ile maksimum verime ulaşılmıştır. Chen ve diğerleri (2009), Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} 'nin başlangıç konsantrasyonunun 100 mg/L olduğu durumlarda çalışmış ve kimyasal çöktürücü olarak CaO kullanılan deneyde pH 7-11 aralığındaki çalışmalarda giderim verimi %99,37-99,6 aralığında çıkmıştır. L. Charentanyarak (1993) Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mn^{2+} ağır metallerinin $Ca(OH)_2$ ile giderimi deneyinde optimum pH 11, optimum dozaj 10 g/L'de sırasıyla %99,77-99,67-99,30 giderim verimine ulaştığı tespit edilmiştir. Fu ve diğerlerinin (2009) yaptığı çalışmada başlangıç ağır metal konsantrasyonu 50 mg/L olan atıksudan Ni giderilmesi için alkali çökeltici varlığında optimum 11 pH'da %92,8 giderim verimine ulaşılmıştır. Fu ve diğerlerinin (2012) yaptığı diğer bir çalışmada başlangıç ağır metal konsantrasyonu 50 mg/L olan atıksudan Ni giderilmesi için ileri fenton kimyasal çöktürme prosesinde alkali çökeltici varlığında optimum 11,5 pH'da %98,5 giderim verimine ulaşılmıştır. Jiang ve diğerlerinin (2008) başlangıç Cu konsantrasyonu 25 mg/L olan atıksudan Cu'nun giderilmesi için yaptığı deneyde $Ca(OH)_2$ çöktürücü kullanılmış ve pH 12-13'de %99'un üzerinde bir giderim verimi gözlemlenmiştir. Mirbaghen ve Hosseininin (2005) yaptığı araştırmada başlangıç Cu, Cr konsantrasyonları 48,51 mg/L olan atıksudan ağır metal gideriminde $Ca(OH)_2$ ve NaOH kullanılmış ve pH 8,7-12 'de %98,56 verim sağlanmıştır. Azabou ve diğerlerinin (2007) yaptığı, başlangıç Zn konsantrasyonu 200 mg/L olan atıksudan ağır metal giderimi deneyinde çöktürü olarak sülfat indirgeyici bakteriler kullanılmış ve pH 6,8'de optimum verim elde edilmiştir. Fu ve diğerlerinin (2007) yaptığı çalışmada başlangıç Cu konsantrasyonu 100 mg/L olan atıksudan ağır metal gideriminde çöktürücü olarak 1,3,5 Heksahidrotriazin Ditiokarbamat kullanılmış ve pH 3-9'da %99,6 verime ulaşılmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

Bu çalışmada giderilmeye çalışılan ağır metal çözeltileri, kurşun (Pb), nikel (Ni) ve bakır (Cu)'dır. Çöktürücü kimyasal maddeler sodyum hidroksit (NaOH) ve kalsiyum hidroksit (Ca(OH)₂)'tir. Doğal materyal olarak ise Kalsine Midye Kabuğu (KMK) tercih edilmiştir. Ağır metal stok çözeltilerinin hazırlanmasında ultra saf su, pH ayarlamalarında nitrik asit (HNO₃) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

3.1.1 Kullanılan Doğal Materyal ve Özellikleri

Bu çalışmada Kalsine Midye Kabuğu (KMK) kullanılmıştır. Su ürünleri endüstrisinin bir yan ürünü olan midye kabuğu, bol miktarda kalıntı karbonat kaynağıdır ve ayrıca adsorpsiyon, dispersiyon, mineralizasyon, toksisitesi olmayan özellikleri ile doğal bir gözenekli mineralize doğal materyaldir. Son yıllarda, düşük maliyetli bir atık materyal olarak midye kabuğu, fosfor ve ağır metal kirliliği içeren atıksular için doğal çöktürücü bir madde olarak kullanılması ile birçok alanda potansiyel uygulamaları nedeniyle büyük ilgi görmüştür (Ji, 2019). İşlenmemiş midye kabukları bir atık maddedir ve dünyada midye üretimi için ikinci sırada yer alan Galiçya'da büyük miktarlarda üretilir. Çoğu midye kabuğu atıkları, yıkama, öğütme, kalsinasyon ve eleme veya yalnızca yıkama, öğütme ve eleme işlemlerini içeren ve daha düşük enerji tüketimi ile sonuçlanan prosesleri kullanarak değerli üst düzey malzemeler üretmek için fabrikalarda arıtılmaktadır (Perez-Ramirez 2013). Yukarıda bahsedilen hususların dışında, midye kabukları doğal bir şekilde mevsimsel olarak kıyılarda da birikebilmektedir. Kıyılarda biriken midye kabukları ciddi miktarlara ulaşabilmekte ve bunların toplanarak değerlendirilmesi Çevre Mühendisliği açısından önemli görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.1: (a) Ham midye kabuğu (b) Kalsine midye kabuğu

3.2 Deneysel Çalışmalar

3.2.1 Kullanılan Alet ve Teçhizatlar

Deneylerde doğal çöktürücü olarak 45-125 µm boyutunda Kalsine Midye Kabuğu (KMK) tozu, bir adet öğütücü, 600 ml'lik beherler, pH metre (WTW inoLab 7110), hassas terazi (AND HR 250 AZ), analiz eleği (JEOTEST) kullanılmıştır. Çöktürme deneyleri için bir adet karıştırma hızı ve süre parametresi dijital olarak ayarlanabilen jar testi (VELP Scientifica Solutions for JAR/Leaching Test), karıştırma işleminden sonra numuneleri çöktürücüden ayırmak için filtre kağıdı kullanılmıştır. Deney sonrası numunelerin mg/L cinsinden ağır metal konsantrasyonları fotometrede (Spectroquant NOVA60) okunmuştur.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.2: (a) pH Metre (b) Hassas Terazi (c) Spektrofotometre (d) Jar Testi

3.2.2 Doğal Çöktürücüye Uygulanan Ön İşlem

Deneyde kullanılacak midye kabukları Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Samsun Sahili'nden toplanmıştır. Laboratuvara getirilen midye kabukları ilk olarak, kabukların üzerlerinde bulunan tuz, kum ve diğer maddelerin giderilmesi için musluk suyu ile yıkanmıştır. Ardından bir süre saf su içerisinde bekletilmiştir. Bunu takiben bir öğütücü kullanılarak midye kabukları öğütülmüş ve 80 °C'de 24 saat boyunca etüvde kurutulmuştur. Öğütme işleminin ardından analiz eleğinden (Jeotest) geçirilmiş ve çalışmada kullanılmak üzere 45-125 µm boyutundaki midye kabuğu tozu tekrar etüve yerleştirilerek 80 °C'de 24 saat boyunca bekletilmiştir. Ardından desikatörde soğutulduktan sonra hava almayacak şekilde cam kaplara yerleştirilmiştir. Bu ham midye kabuğundan 20 g uygun boyuttaki midye kabuğu tartılmış, porselen krozeeye konmuş ve yakma fırınında 900°C'de 1,5 saat tutulmuştur. Daha sonra çıkarılarak distile su ile yıkanmış ve süzölmüştür. Etüvde 80°C'de 24 saat kurutulmuştur. Daha sonra distile su ile yıkanmış ve 105°C'de etüvde 1 gece bekletilmiştir. Ardından yakma fırınında 400°C'de 4 saat boyunca bekletilmiş ve deneylerde kullanılmak üzere cam kaplara yerleştirilmiştir (Haddad, 2014).

3.2.3 Ağır Metal Çözeltilerinin Hazırlanması

3.2.3.1 Kurşun Stok Çözeltisi

Öncelikle hassas terazi çalıştırılmış ve kalibrasyonu yapılmıştır. Tartım kabının darası alınarak toz kurşun nitrat bileşiğinden ($Pb(NO_3)_2$) hesaplama sonucu, içerisinde 1 g Pb olacak şekilde 1,598 g tartılmıştır. Tartılan kurşun nitrat ($Pb(NO_3)_2$) 1 Litrelik balon jøjeye aktarılmıştır. Ultra saf su ile 1 litreye tamamlanarak 1000 mg/L'lik kurşun (Pb) stok çözeltisi hazırlanmıştır. Deneylerden önce taze olarak bu stok çözeltilerden uygun seyreltmeler yapılarak atıksu örnekleri hazırlanmıştır.

Hesaplama: Kurşun Nitrat ($Pb(NO_3)_2$)'nin molar kütlesi 331,2 g/mol'dür. Pb'nin molar kütlesi ise 207,2 g/mol olduğuna göre 1 L çözeltide 1 g Pb olması için 1,5984 g $Pb(NO_3)_2$ 1 L ultra saf suya eklenmelidir.

3.2.3.2 Nikel Stok Çözeltisi

Tartım kabının darası alınarak toz nikel bileşiğinden ($N_2NiO_6 \cdot 6H_2O$) hesaplama sonucu içerisinde 1 g Ni olacak şekilde 4,946 g tartılmıştır. Tartılan nikel bileşiği ($N_2NiO_6 \cdot 6H_2O$) 1 Litrelik balon jøjeye aktarılmıştır. Ultra saf su ile 1 litreye tamamlanarak 1000 mg/L'lik nikel (Ni) stok çözeltisi hazırlanmıştır. Deneylerden önce taze olarak bu stok çözeltilerden uygun seyreltmeler yapılarak atıksu örnekleri hazırlanmıştır.

Hesaplama: Nikel bileşiğinin ($N_2NiO_6 \cdot 6H_2O$)'nin molar kütlesi 290,79 g/moldür. Ni'nin molar kütlesi ise 58,79 g/mol olduğuna göre 1 L çözeltide 1 g Ni olması için 4,9462 g $N_2NiO_6 \cdot 6H_2O$ 1 L ultra saf suya eklenmelidir.

3.2.3.3 Bakır Stok Çözeltisi

Öncelikle hassas terazi çalıştırılmış ve kalibrasyonu yapılmıştır. Tartım kabının darası alınarak toz bakır bileşiğinden ($Cu(NO_3)_2$) hesaplama sonucu içerisinde 1 g Cu olacak şekilde 3,8047 g tartılmıştır. Tartılan bakır bileşiği ($Cu(NO_3)_2$) 1 litrelik balon jøjeye aktarılmıştır. Ultra saf su ile 1 litreye tamamlanarak 1000 mg/L'lik bakır (Cu) stok çözeltisi hazırlanmıştır. Deneylerden önce taze olarak bu stok çözeltilerden uygun seyreltmeler yapılarak atıksu örnekleri hazırlanmıştır.

Hesaplama: Bakır bileşiğinin ($Cu(NO_3)_2$)'nin molar kütlesi: 241,60 g/moldür. Cu'nun molar kütlesi ise 63,5 g/mol olduğuna göre 1 L çözeltide 1 g Cu olması için 3,8047 g $Cu(NO_3)_2$ 1 L ultra saf suya eklenmelidir.

3.2.4 Deneylerin Yapılışı

Kurşun (Pb), Nikel (Ni) ve Bakır (Cu) çözeltileri belli oranlarda seyreltildikten sonra $Ca(OH)_2$, NaOH ve doğal çöktürücü (KMK) ile yapılan deneylerde kullanılmıştır. Deneyler 300 mL kurşun (Pb), nikel (Ni) ve bakır (Cu) çözeltisi içeren 600 mL'lik beherler içerisinde gerçekleştirilmiştir. Belirli miktarda sıvı ve katı doğal çöktürücü (KMK) ile 300 mL hacminde kurşun (Pb), nikel (Ni) ve bakır (Cu) içeren çözelti bu beherlere ilave edilerek süspansiyonlar farklı test periyotları için bir jar

testine yerleştirilerek önce 5 dakika ve 200 rpm hızında, sonra 15 dakika 10 rpm hızında karıştırılmıştır. Uygun karıştırma ve arıtım süresinden sonra, süspansiyonlar 60 dakika süre ile çökeltme olması için bekletilmiştir. Solüsyonlardaki kurşun (Pb), nikel (Ni) ve bakır (Cu) konsantrasyonları, Pb, Ni, Cu hazır kitlerine (sırasıyla 114833 ve 109717, 114785, 114767) (Şekil 3.3) tabi tutulduktan sonra Spectroquant NOVA60 marka fotometre cihazı ile analiz edilmiştir. Bu deneysel işleyiş kapsamında doğal çöktürücü (KMK) dozajı ve başlangıç kurşun (Pb), başlangıç nikel (Ni) ve başlangıç bakır (Cu) konsantrasyonu çalışmaları yürütülmüştür. Yapılan tüm bu işlemler aynı şekilde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve NaOH için de uygulanarak karşılaştırma yapılmıştır.



(a)

(b)



(c)

Şekil 3.3: (a) Kurşun Kitleri (b) Nikel Kiti (c) Bakır Kiti

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

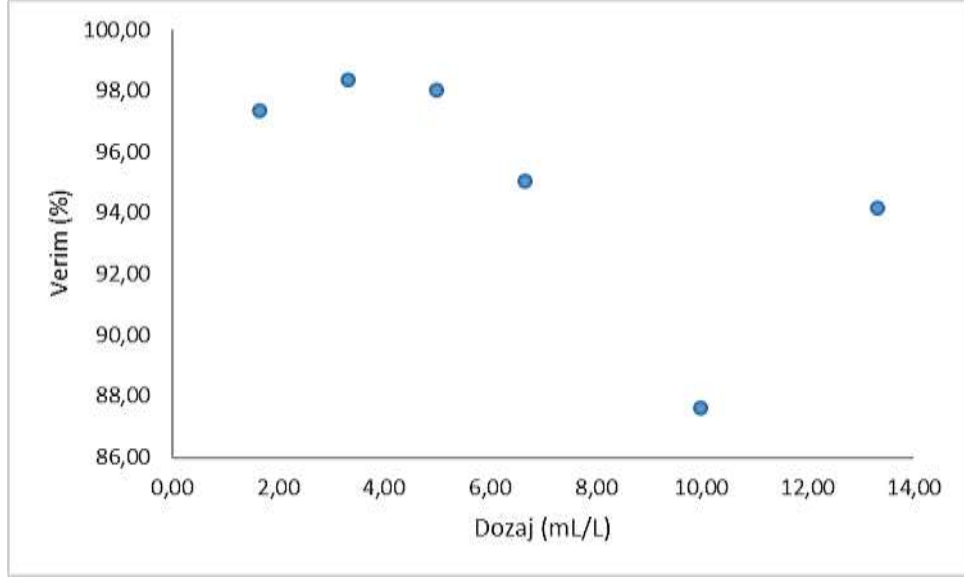
4.1 Kurşun (Pb²⁺)

4.1.1 Kimyasal Çöktürmeye Sıvı KMK Dozajının Etkisi:

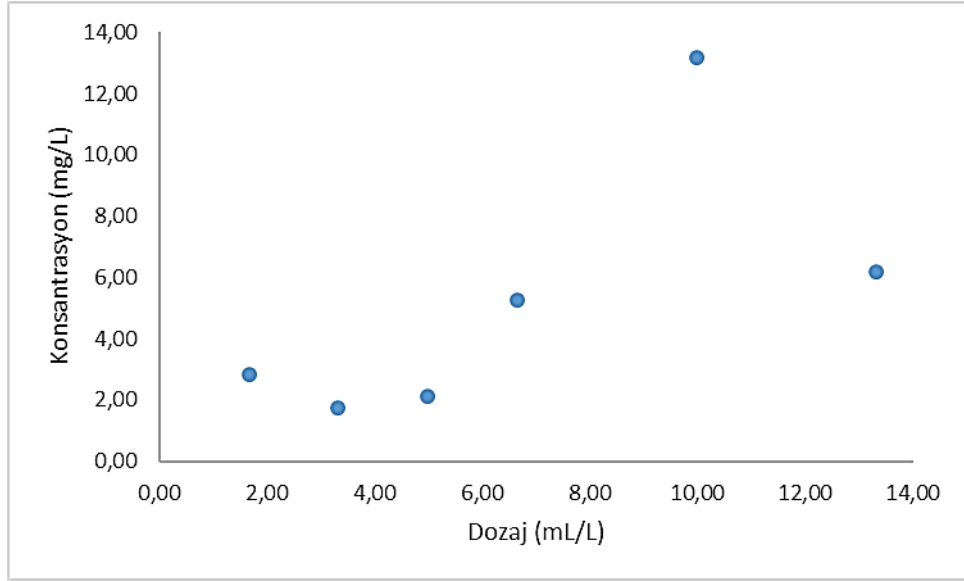
Doğal çöktürücü (KMK) sıvı dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla 0,15 g KMK hassas terazide tartılıp 15 mL ultra saf su ile süspansiyon haline getirilmiştir. Hazırladığımız bu süspansiyondan, şiddetli şekilde çalkalamak suretiyle farklı KMK sıvı miktarları, (0,5-1-1,5-2-3-4 mL) içinde yaklaşık 100 mg/L kurşun bulunan 300 mL kurşun (Pb) stok çözeltisine eklenerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10 rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütülmüştür.60 dakika çökme süresinden sonra numuneler filtre kağıdından süzülerek kurşun (Pb) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan numunelerin spektrofotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Genel görünüm, verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmektedir.



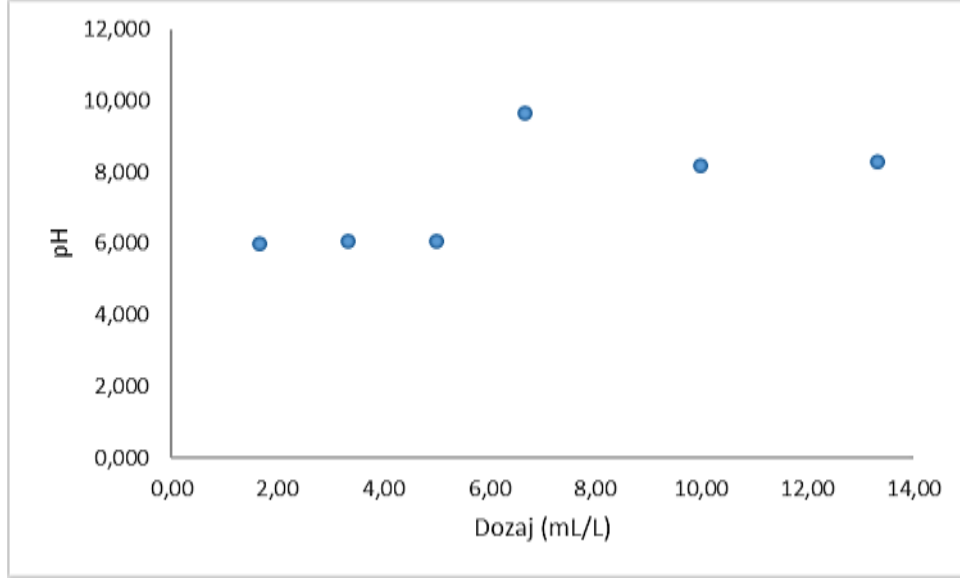
Şekil 4.1: Kurşun Giderimi için KMK Dozaj Deneyi



Şekil 4.2: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan KMK (sıvı) dozajına göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.3: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan KMK (sıvı) dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği



Şekil 4.4: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan KMK (sıvı) dozajına göre elde edilen pH grafiği

Yapılan doğal çöktürücü (KMK) sıvı dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde 100 mg/L kurşun (Pb) başlangıç konsantrasyonunda 3,33 mL/L KMK sıvı dozajında verim %98,36 olarak gözlemlendi. Ancak 3,33 mL/L'den sonra KMK sıvı dozajı arttıkça KMK'nın kurşunu (Pb) çöktürme kapasitesi azalmıştır. Maksimum çöktürme 3,33 mL/L KMK sıvı dozajında gerçekleşmiştir. Artan dozajla beraber pH'ın da arttığı ve ortam pH artışının verimde azalmaya sebebiyet verdiği görülmüştür. Ayrıca dozaj miktarı arttıkça bulanıklığın arttığı görülmüştür. Burada pH değişiminin bazı durumlarda optimum pH oluşumu ve kompleks oluşumuna neden olarak verimde değişikliklere yol açtığı düşünülmektedir. Ayrıca sıvı besleme işlemi her ne kadar dikkat edilse de dozajda değişikliklere neden olabilmektedir. Bunun nedeni homojen bir karışım oluşturmanın laboratuvar ortamında zor olmasıdır. Bu nedenle sıvı uygulama yerine bundan sonraki deneylerde katı uygulama yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen çözeltilerde bulanıklık gözlemlenmiştir.

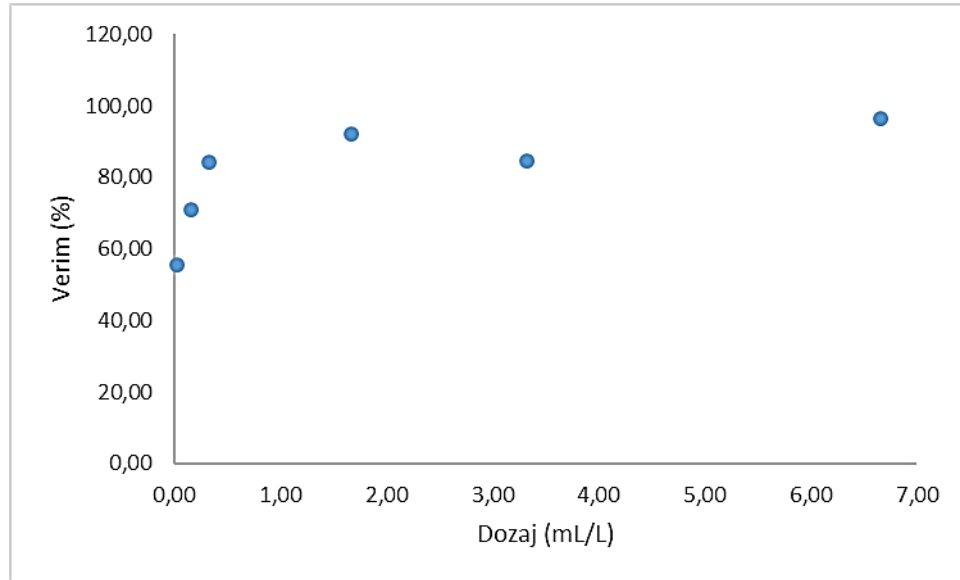
4.1.2 Kimyasal çöktürmeye NaOH (0,5 N) Dozajının Etkisi

0,5 N NaOH dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı 0,5 N NaOH miktarları kullanılarak (0,01-0,05-0,1-0,5-1-2 mL) içinde yaklaşık 100 mg/L kurşun bulunan 300 mL kurşun (Pb) stok çözeltisine eklenerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10 rpm 15

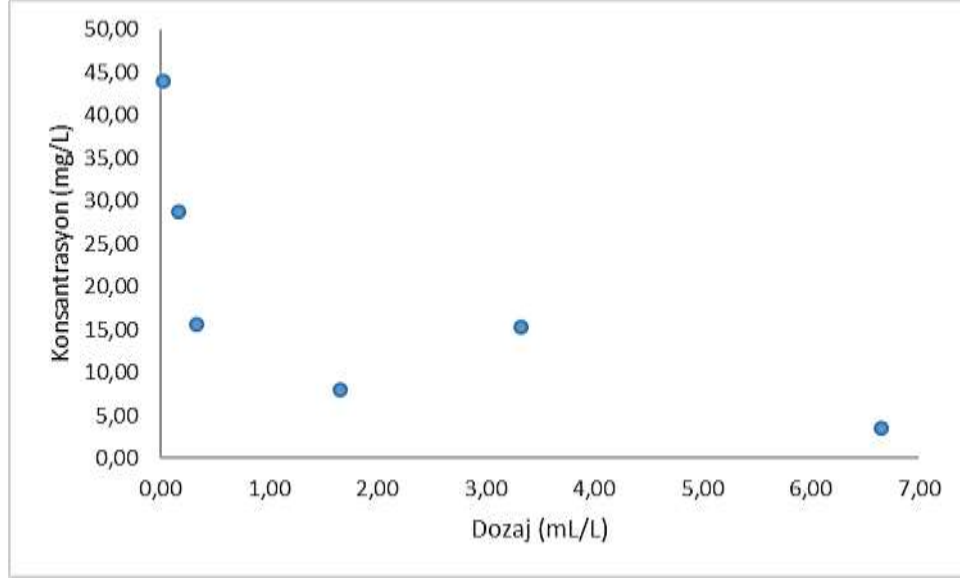
dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.5) numuneler filtre kağıdından süzülerek kurşun (Pb) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan numunelerin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.6, 4.7 ve 4.8’de verilmektedir.



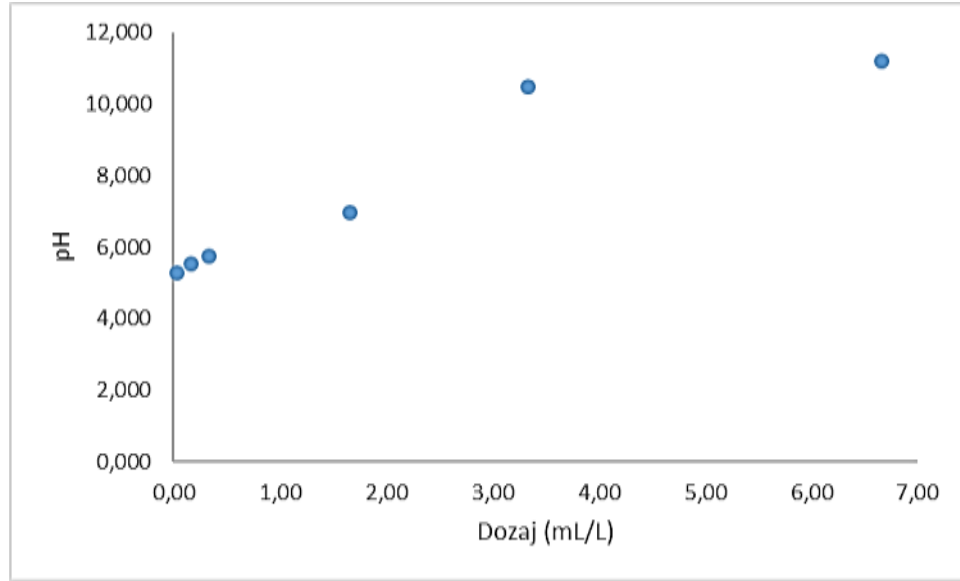
Şekil 4.5: Kurşun Giderimi İçin NaOH Dozaj Deneyi



Şekil 4.6: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.7: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği



Şekil 4.8: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen pH grafiği

Yapılan 0,5 N NaOH dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde 100 mg/L kurşun (Pb) başlangıç konsantrasyonunda 1,665 mL/L 0,5 N NaOH dozajında verim %91,99 olarak gözlemlendi. Ancak 1,665 mL/L'den sonra 0,5 N NaOH dozajı arttıkça NaOH'ın kurşunu (Pb) çöktürme kapasitesi azalmış ve ardından tekrar yükselmiş ve 6,66 mL/L dozajında %96,47 değerine ulaşmıştır. Ayrıca hidroksit çöktürmesi mekanizmasında olduğu gibi pH'ın

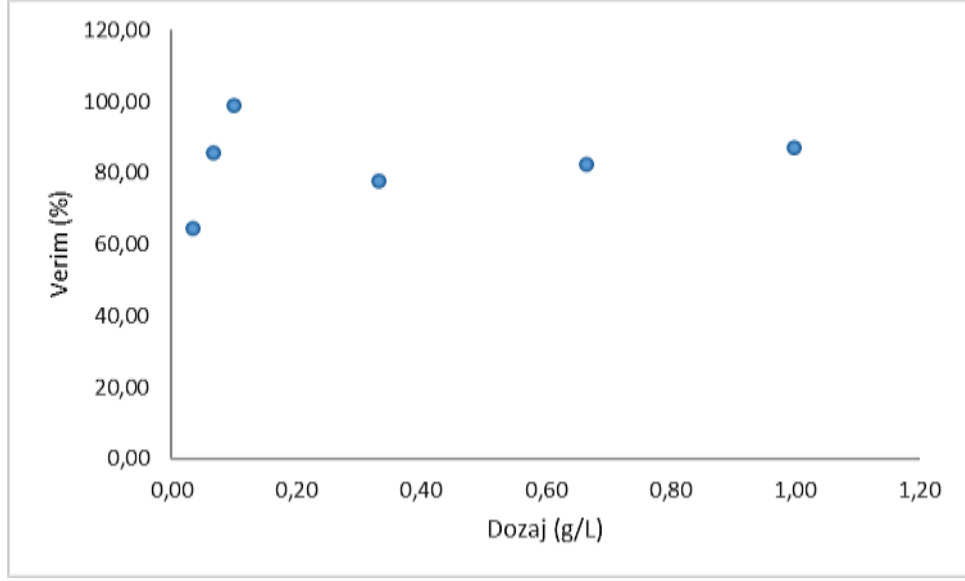
yüksek olduğu ortamda giderimde artış olduğu görülmüştür. Dozaj artışına bağlı olarak suda yükselen pH değerinin etkisiyle birlikte kurşun iyonları hidroksitleri şeklinde çökelmiştir. 6,66 mL/L ve 3,33 mL/L dozajlarda kap tabanında çökeltme net bir şekilde gözlemlenirken, 1,665 mL/L ve 3,33 mL/L'de belirgin bir bulanıklığın oluştuğu görülmüştür.

4.1.3 Kimyasal Çöktürmeye KMK (katı) Dozajının Etkisi

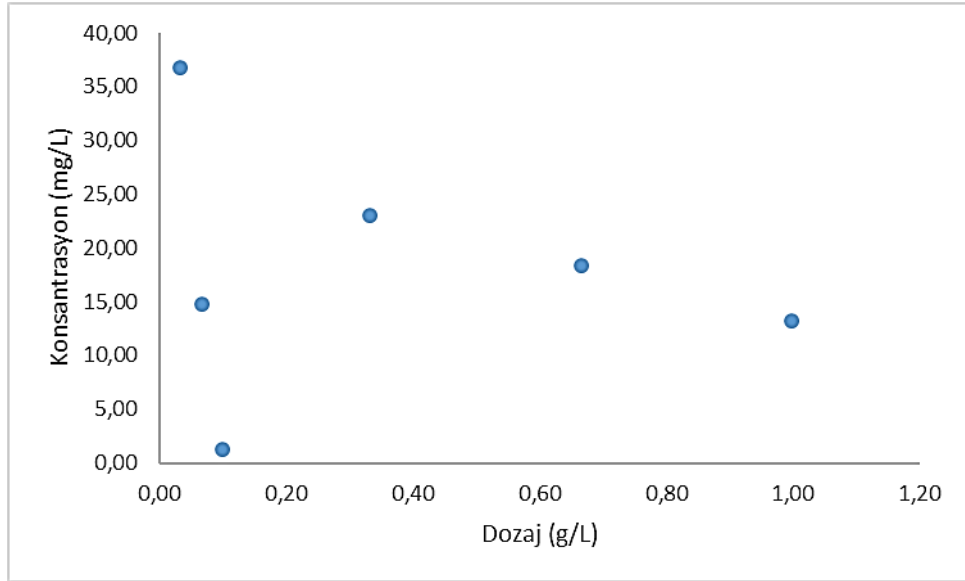
KMK (katı) dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı KMK katı miktarları kullanılarak (0,01-0,02-0,03-0,1-0,2-0,3 g) içinde yaklaşık 100 mg/L kurşun bulunan 300 mL kurşun (Pb) stok çözeltisine eklenerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10 rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütüldü. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.9) numuneler filtre kağıdından süzülerek kurşun (Pb) kiti uygulandı. Kit uygulanan numunelerin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçüldü. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarıldı. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.10, 4.11 ve 4.12'de sunulmaktadır.



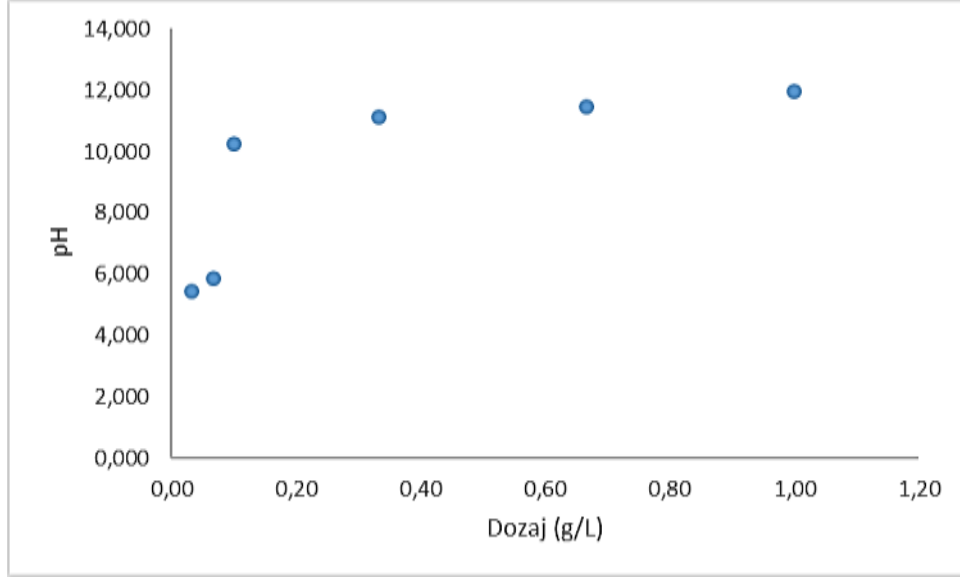
Şekil 4.9: Kurşun Giderimi İçin KMK (Katı) Dozaj Deneyi



Şekil 4.10: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan KMK dozajına göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.11: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan KMK dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği



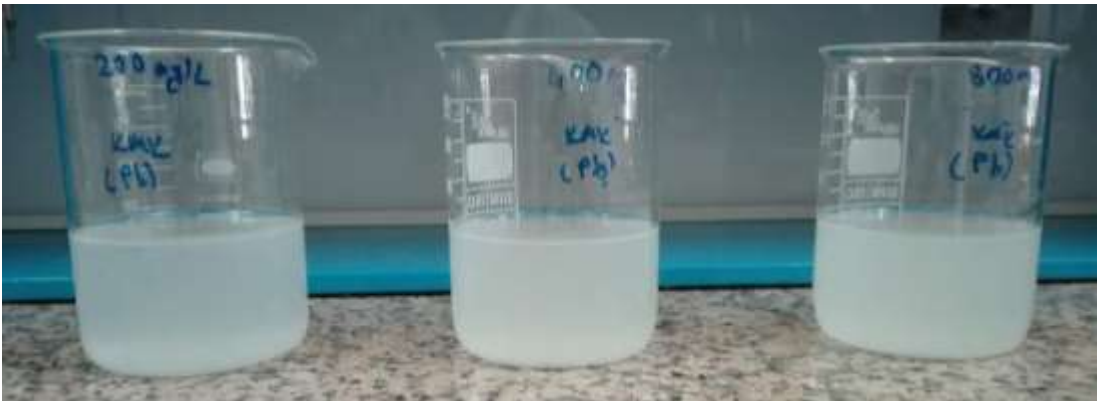
Şekil 4.12: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan KMK dozajına göre elde edilen pH grafiği

Kurşun (Pb) için yapılan KMK (katı) dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde 100 mg/L kurşun (Pb) başlangıç konsantrasyonunda 0,1 g/L KMK (katı) dozajında verim %98,79 olarak gözlemlenmiştir. Ancak 0,1 g/L'den sonra KMK (katı) dozajı arttıkça KMK (katı)'nın kurşunu (Pb) çöktürme kapasitesi azalmıştır. Maksimum çöktürme 0,1 g/L KMK (katı) dozajında gerçekleşmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde etkin bir bulanıklığın çalışılan tüm deney kaplarında meydana geldiği net bir şekilde görülmektedir. Burada kalsine midye kabuğunda kalsinasyon işlemi neticesinde ortaya çıkması beklenen CaO kimyasalı neticesinde pH'ın arttığı gözlemlenmesine karşılık optimum pH oluşumu tam anlamıyla gözlemlenememiştir. pH 10 değerinde çökelmenin maksimum olmasına karşılık bu değer üzerinde çökeltme önce azalmış daha sonra tekrar artış göstermiştir. Kurşun esasen karbonat halinde pH 9-9,5 aralığında, kireç kullanıldığında ise pH 11.5'de en etkin şekilde çökelmektedir. Sülfür ile çöktürme işleminde ise 7,5-8,5 aralığında çöktürme işlemi söz konusu olmaktadır (Öztürk ve diğ., 2005). Bu noktada, bir anlamda suya eklenen KMK ile aslında suya CaO eklenmesi işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu anlamda söz konusu çöktürme işlemi kireçle çöktürme olarak düşünülebilir. Burada pH 10 değerinde başarılı bir çökeltme işlemi gerçekleşmesine karşın, pH 12 değerinde ise %90'a yakın verim elde edilmiştir. Chen ve diğ., 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada $Ca(OH)_2$, Na_2S ve Na_2CO_3 kimyasallarını kullanmışlar ve $Ca(OH)_2$ ile maksimum %76,14 giderim verimine

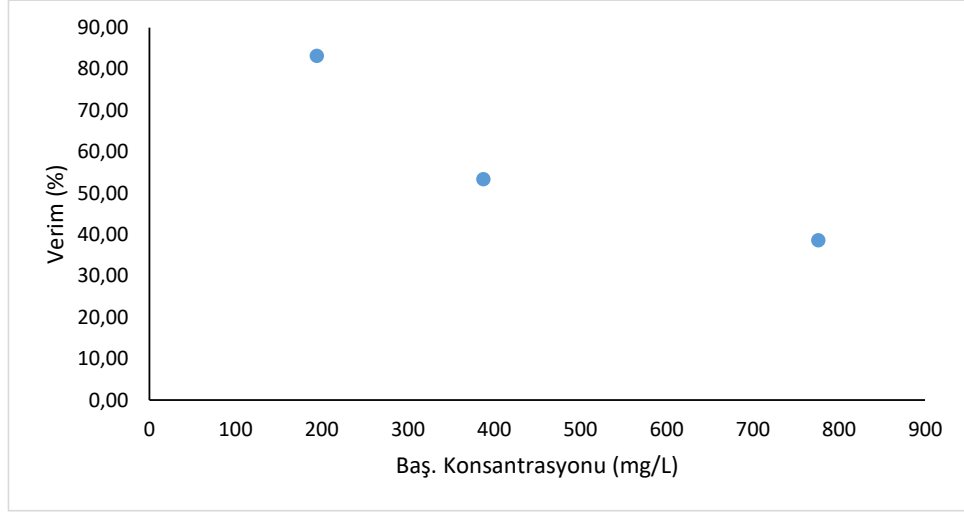
ulaşabilmişlerdir. Kullandıkları Na_2S ile maksimum %99,75 giderim verimi elde etmişlerdir. Yürüttükleri çalışmada, bu tez çalışmasında da olduğu gibi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve Na_2CO_3 'te bulanıklık rapor etmişlerdir. Kurşun gideriminde, hidroksit ve karbonat şeklindeki çökeltmede bulanıklık bir problem olarak gözükmemektedir (Chen ve diğ., 2018).

4.1.4 Kimyasal Çöktürmeye Başlangıç Kurşun (Pb^{2+}) Konsantrasyonunun Etkisi

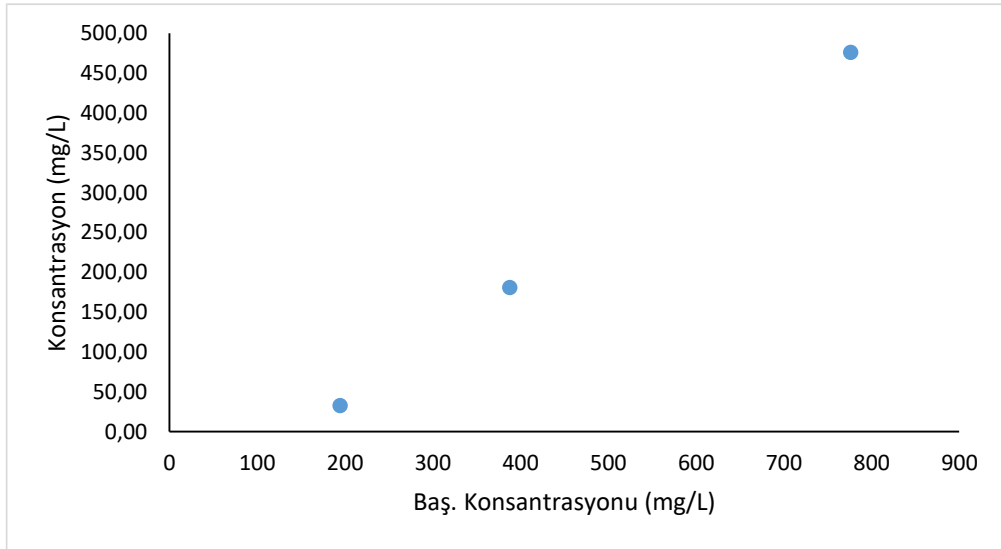
Atıksularda bulunan kurşun konsantrasyonu endüstriyel işletmelerin üretim çeşitliliğine göre farklılık göstermektedir. Bundan dolayı deneysel çalışmalarda farklı kurşun konsantrasyonlarının giderim veriminin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla 0,1'er g/L KMK dozunun farklı kurşun (Pb) konsantrasyonlarına (194-388-776 mg/L) etkisini gözlemlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı kurşun konsantrasyonları içeren çözeltiler numaralandırılarak 600 mL'lik beherlere eklenmiştir. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm'de 5 dk, sonra 10 rpm'de 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.13) filtre kağıdından süzülen numunelere kurşun (Pb) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan her bir numunenin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16'da gösterilmektedir.



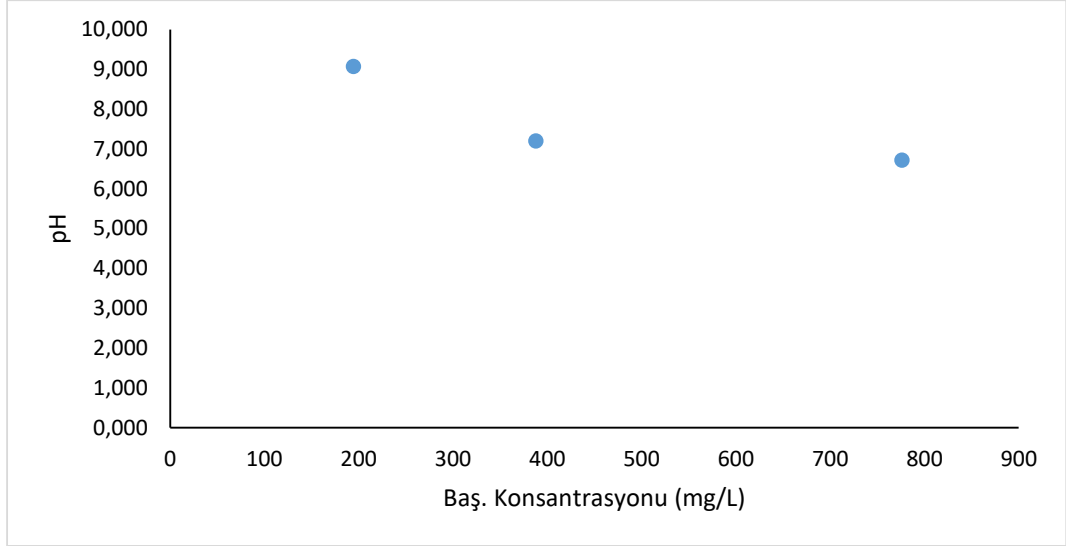
Şekil 4.13: Başlangıç Konsantrasyonun Kurşun Giderimine Etkisi Deneyi



Şekil 4.14: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan başlangıç kurşun (Pb) konsantrasyonuna göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.15: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan başlangıç kurşun (Pb) konsantrasyonuna göre elde edilen nihai konsantrasyon grafiği



Şekil 4.16: Kurşun (Pb^{2+}) için uygulanan başlangıç kurşun (Pb) konsantrasyonuna göre elde edilen pH grafiği

Yapılan başlangıç kurşun (Pb) konsantrasyonu çalışması sonucunda grafikler incelendiğinde, kurşun (Pb) konsantrasyonunun artmasıyla beraber çöktürme kapasitesinde artış görülmüş olmasına rağmen verimde azalma görülmüştür. Kurşun (Pb) çözeltilisinin yoğunluğu arttıkça KMK tozunun çöktürme etkisi azalmıştır. 194 mg/L başlangıç kurşun konsantrasyonunda verim %83,21 olarak gözlemlenmiştir. Başlangıç kurşun (Pb) konsantrasyonu arttıkça verim azalmış düşük konsantrasyonda KMK'nın daha etkili olduğu görülmüştür. KMK dozunun başlangıç kurşun konsantrasyonuna göre tekrar dikkate alınıp atırılması verimi de arttırabilecektir. Çalışma sonunda beherler dikkatle incelenecek olursa, bulanıklık sorununun konsantrasyonun artmasına bağlı olarak ciddi oranda arttığı da net bir şekilde görülmektedir. Burada konsantrasyon artışına müteakip reaksiyona girecek yeterli KMK kalmadığından hem pH değerinde bir düşüş gözlemlenmiş hem de verimde ciddi bir azalma ile karşılaşmıştır. Yine de 194 mg/L'lik başlangıç konsantrasyonunda %80'in üzerinde bir verim elde edilmiş olup, bunun daha da yükseltilmesi için 100 mg/L için elde edilen optimum dozajın arttırılması gereklidir. Atıksuda meydana gelecek kirlilik yükü salınımlarının ne denli önemli bir problem oluşturduğu bu çalışmadan da net bir şekilde görülmektedir.

4.2 Nikel (Ni)

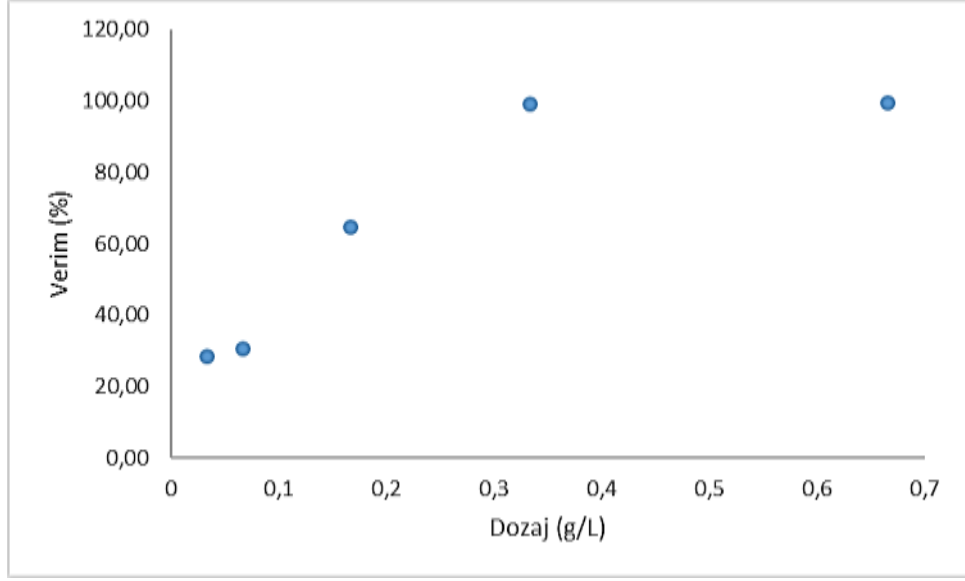
4.2.1 Kimyasal Çöktürmeye KMK Dozajının Etkisi

KMK dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı KMK miktarları kullanılarak (0,01-0,02-0,05-0,1-0,2 g) içinde yaklaşık 100 mg/L nikel bulunan 300 mL nikel (Ni) stok çözeltisine eklenerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10 rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütüldü. 60 dakika çökme süresinden sonra (Şekil 4.17) numuneler filtre kağıdından süzülerek nikel (Ni) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan numunelerin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.18, 4.19 ve 4.20’de verilmektedir.

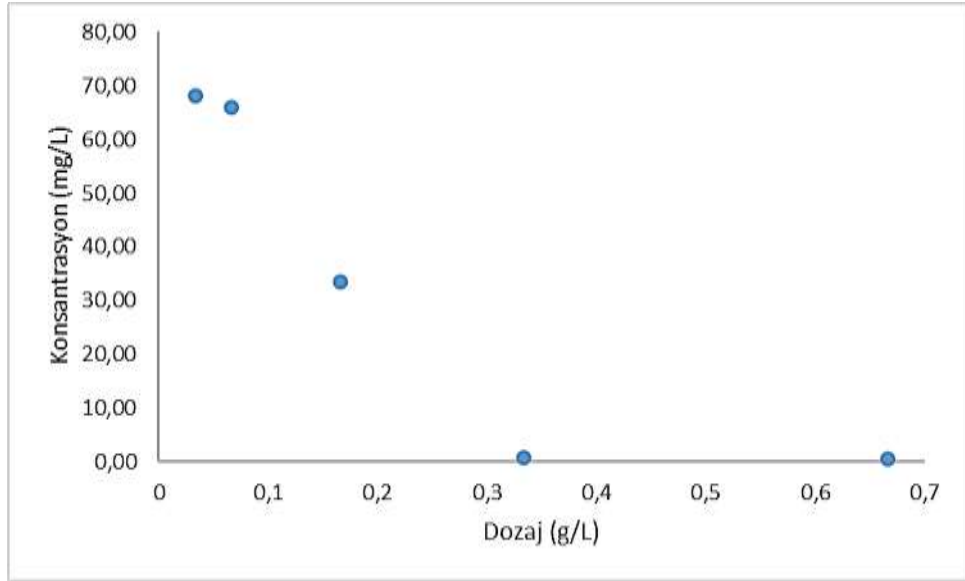


Şekil 4.17: Nikel Giderimi İçin KMK Dozaj Deneyi

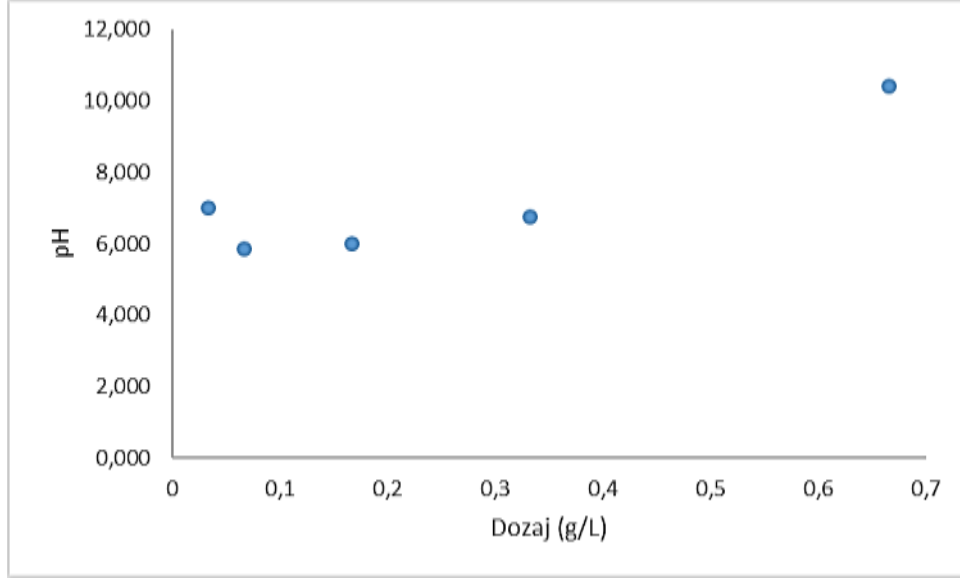
Nikel (Ni) için yapılan KMK dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde yaklaşık 100 mg/L nikel (Ni) başlangıç konsantrasyonunda 0,333 g/L KMK dozajında verim %99,19 olarak gözlemlenmiştir. Maksimum çöktürme 0,333 g/L KMK dozajında gerçekleşmiştir. Sonrasında verimde belirgin bir artış olmamıştır. Yapılan çalışmaların ardından beherler incelendiği takdirde kurşun giderimi için gerçekleştirilen çalışmalarda karşılaşılan bulanıklık probleminin nikel giderim çalışmalarında söz konusu olmadığı net bir şekilde görülmüştür. Nikel için çözünürlüğün minimum olduğu pH değeri literatürde 10 ve 11 arası olarak belirtilmektedir.



Şekil 4.18: Nikel (Ni) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.19: Nikel (Ni) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği



Şekil 4.20: Nikel (Ni) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen pH grafiği

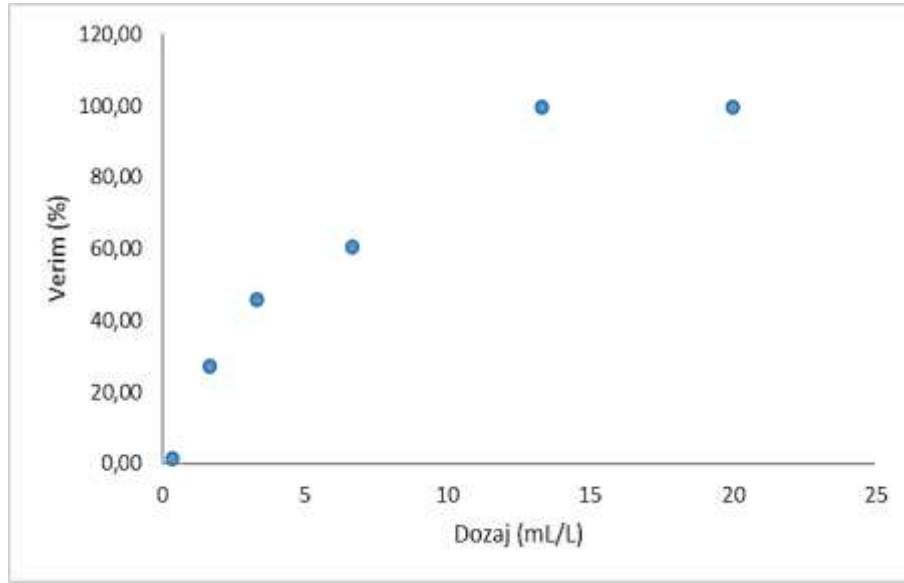
Ayrıca pH 11,5 değerinde dahi başarılı çöktürme işleminin söz konusu olabileceği belirtilmektedir (Öztürk 2005; Tünay 1996). Bu bağlamda yapılan çalışmalarda optimum pH değeri civarında 0,666 g/L dozajında KMK kullanılarak %99,36 giderim verimi ile nikel atıksudan uzaklaştırılmıştır. Bunun haricinde daha düşük pH değerlerinde de 0,333 g/L dozajı ile yeterli verimin elde edildiği söylenebilir. Deney sonrası beherlerin dip kısımlarında meydana gelen çökelmeler açık bir şekilde çökeltme işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır.

4.2.2 Kimyasal Çöktürmeye NaOH (0,5 N) Dozajının Etkisi

0,5 N NaOH dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı 0,5 N NaOH miktarları kullanılarak (0,1-0,5-1-2-4-6 mL) içinde yaklaşık 100 mg/L nikel bulunan 300 mL nikel (Ni) stok çözeltisi ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10 rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütüldü. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.21) numuneler filtre kağıdından süzülerek nikel (Ni) kiti uygulandı. Kit uygulanan numunelerin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçüldü. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarıldı. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te sunulmaktadır.

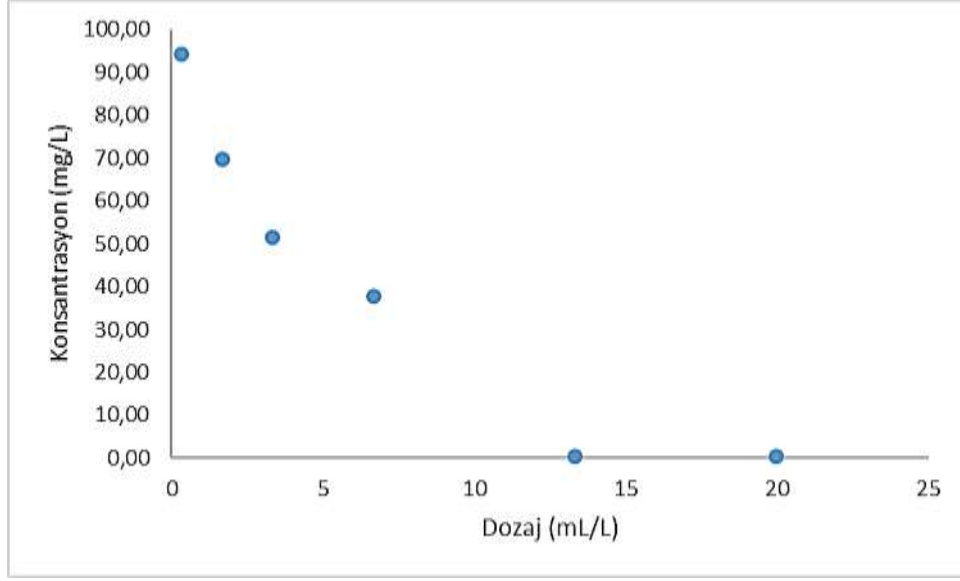


Şekil 4.21: Nikel Giderimi İçin NaOH Dozaj Deneyi

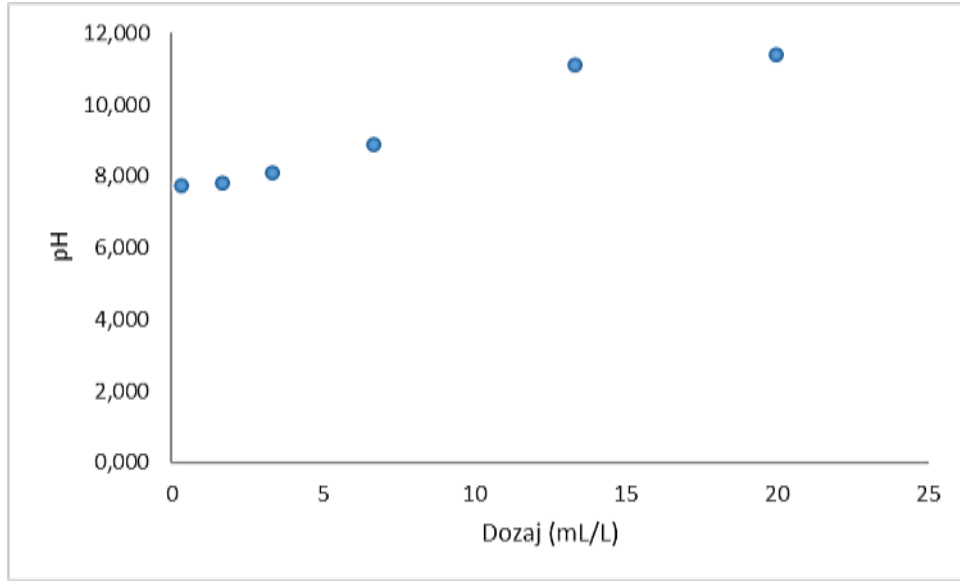


Şekil 4.22: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen verim grafiği

Yapılan 0,5 N NaOH dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde yaklaşık 100 mg/L nikel (Ni) başlangıç konsantrasyonunda 13,32 mL/L 0,5 N NaOH dozajında verim %99,60 olarak gözlemlenmiştir. Daha düşük konsantrasyonlarda optimum pH değerine ulaşamadığı için verimler kısmen düşük kalmıştır. 13,32 mL/L ve üzerindeki dozajda maksimum giderim verimi elde edilmiş olup bu da 11 ile 11,5 pH aralığının NaOH kimyasalı ile hidroksit çökmesi için en uygun aralık olduğunu ortaya koymuştur. Deney sonrası beherler genel anlamda incelendiğinde önemli bir bulanıklık oluşmadığı ve çökeltme işleminin ise dip kısımda meydana gelen renk değişimi ile gözlemlenebildiği söylenebilir.



Şekil 4.23: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği



Şekil 4.24: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen pH grafiği

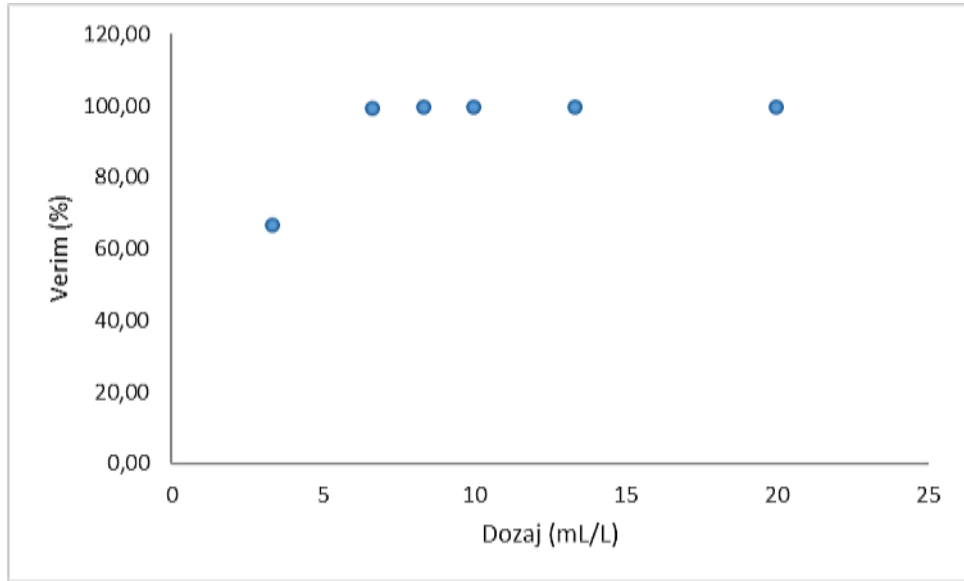
4.2.3 Kimyasal Çöktürmeye $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0,5 N) Dozajının Etkisi

0,5 N $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı 0,5 N $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miktarları kullanılarak (1-2-2,5-3-4-6 mL) içinde yaklaşık 100 mg/L nikel bulunan 300 mL nikel (Ni) stok çözeltisine eklenerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10

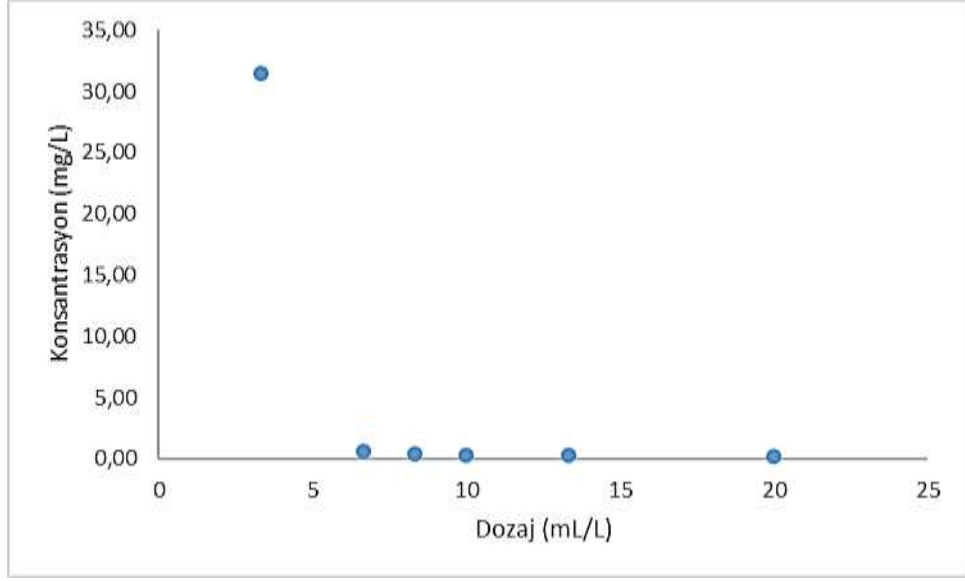
rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütüldü. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.25) numuneler filtre kağıdından süzülerek nikel (Ni) kiti uygulandı. Kit uygulanan numunelerin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçüldü. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarıldı. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.26, 4.27 ve 4.28’de verilmektedir.



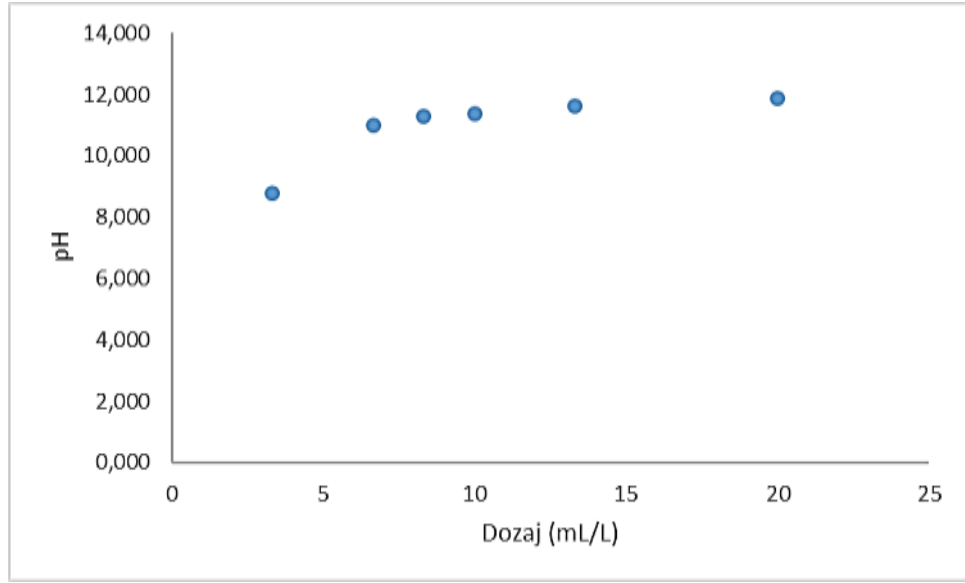
Şekil 4.25: Nikel Giderimi İçin $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Dozaj Deneyi



Şekil 4.26: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dozajına göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.27: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajına göre elde edilen konsantrasyon grafiği



Şekil 4.28: Nikel (Ni) için uygulanan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajına göre elde edilen pH grafiği

Yapılan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde yaklaşık 100 mg/L nikel (Ni) başlangıç konsantrasyonunda 6,66 mL/L 0,5 N Ca(OH)₂ dozajında verim %99,33 olarak gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde Ca(OH)₂ ile pH 11 ve üzerinde maksimum giderim verimlerine ulaşmak mümkün gözükmektedir. Bu doğrultuda dozaj arttıkça verimdeki artış hızı yavaşlamış ve

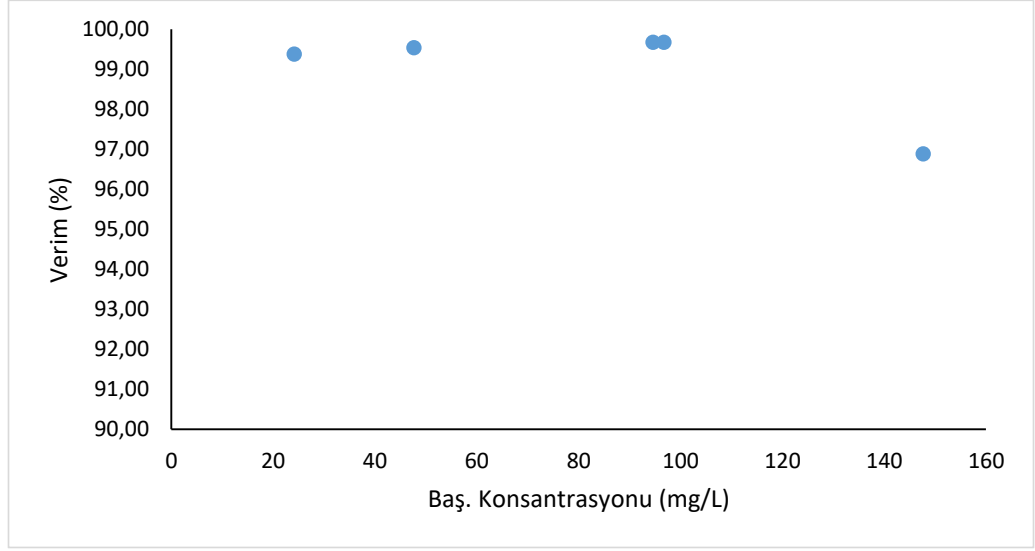
neredeyse sabit bir değere ulaşmıştır. Burada 6,66 mL/L dozajı optimum dozaj olarak seçilmiş olup bunun nedeni ekonomik tarafta kalma eğilimidir. Deney sonrası beherler incelendiğinde hafif bir bulanıklığın bulunduğu görülmektedir. KMK ile $\text{Ca}(\text{OH})_2$ maddeleri giderim açısından karşılaştırıldığı takdirde iki madde ile de %99'un üzerinde yüksek giderim verimlerine ulaşılabildiği söylenebilir.

4.2.4 Kimyasal Çöktürmeye Başlangıç Nikel Konsantrasyonunun Etkisi

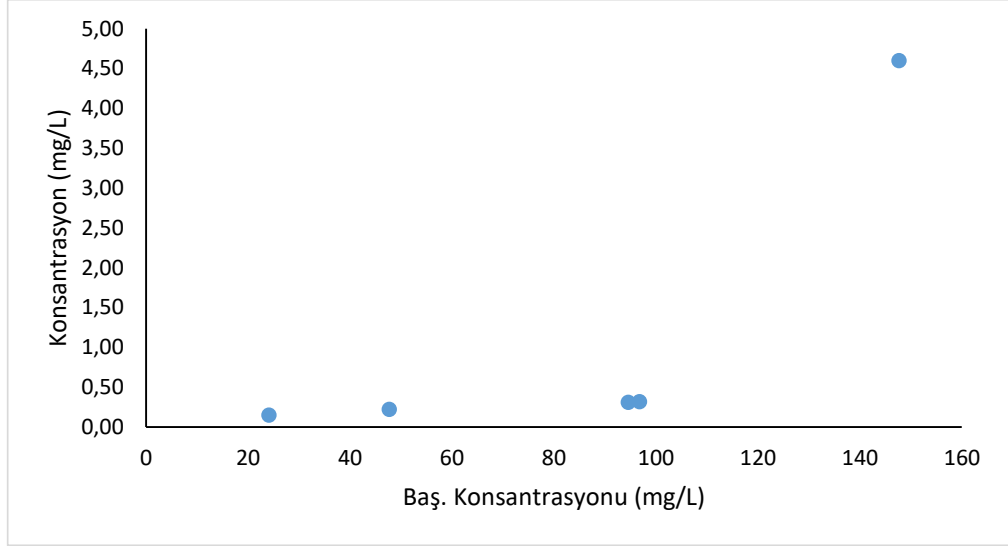
0,333'er g/L KMK dozunun farklı Nikel (Ni) başlangıç konsantrasyonlarına (24-48-95-97-148 mg/L) etkisini gözlemlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı nikel (Ni) konsantrasyonları içeren çözeltiler numaralandırılarak 600 mL'lik beherlere eklenmiştir. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm'de 5 dk, sonra 10 rpm'de 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.29) filtre kağıdından süzülen numunelere nikel (Ni) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan her bir numunenin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.30, 4.31 ve 4.32'de sergilenmektedir.



Şekil 4.29: Başlangıç Konsantrasyonunun Nikel Giderimine Etkisi Deneyi

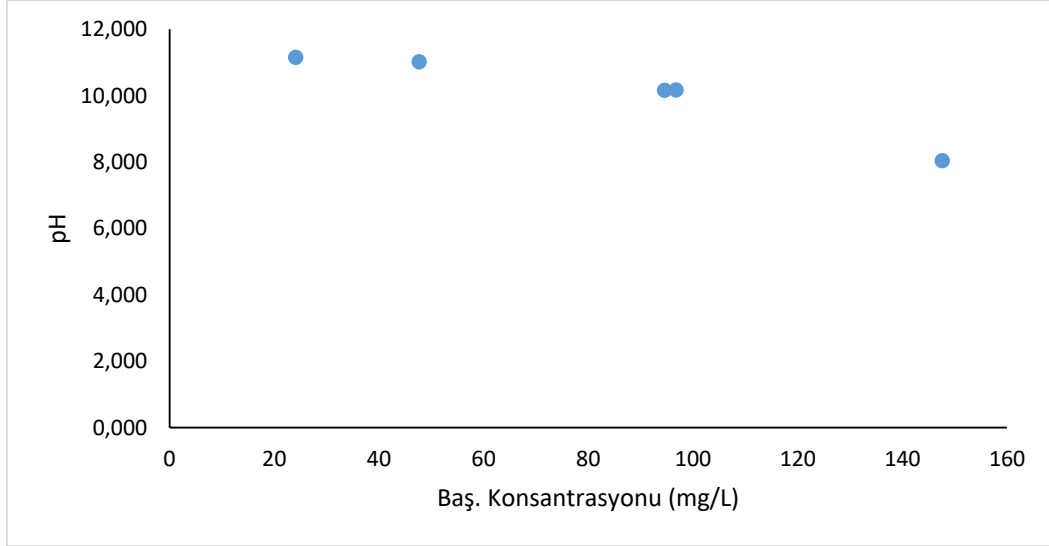


Şekil 4.30: Nikel (Ni) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.31: Nikel (Ni) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen konsantrasyon grafiği

Nikel için yapılan başlangıç nikel (Ni) konsantrasyonu çalışması sonucunda grafikler incelendiğinde, nikel (Ni) konsantrasyonunun azalması giderimde herhangi bir olumsuz etki yaratmamıştır. İki set halinde gerçekleştirilen yaklaşık 100 mg/L Ni içeren atıksulardan aynı giderim verimi (%99,67) elde edilmiş olup, bu da deneylerin tekrarlanabilirliğini açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 4.32: Nikel (Ni) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen pH grafiği

Nikel konsantrasyonunun 148 mg/L'ye çıkarılması durumunda dahi arıtım veriminde ciddi bir azalma olmadığı görülmüştür. Buna karşın pH değerlerinde meydana gelen azalma, daha yüksek konsantrasyonlarda verimin de düşebileceğini göstermektedir. Bu durum daha önce kurşun giderim deneylerinde ortaya konmuştur.

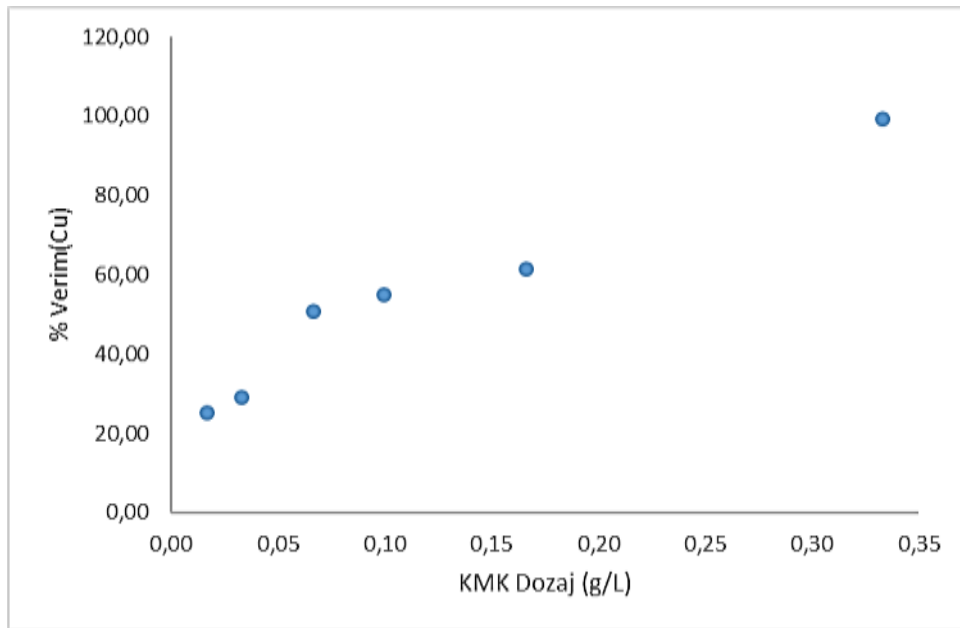
4.3 Bakır (Cu)

4.3.1 Kimyasal Çöktürmeye KMK Dozajının Etkisi (0,005 – 0,1 g)

Bakır (Cu) için KMK dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı KMK miktarları kullanılarak (0,005-0,01-0,02-0,03-0,05-0,1 g) içinde yaklaşık 100 mg/L bakır bulunan 300 mL bakır (Cu) stok çözeltisine ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10 rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çökme süresinden sonra (Şekil 4.33) numuneler filtre kağıdından süzülerek bakır (Cu) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan numunelerin spektrofotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.34, 4.35 ve 4.36'da verilmektedir.



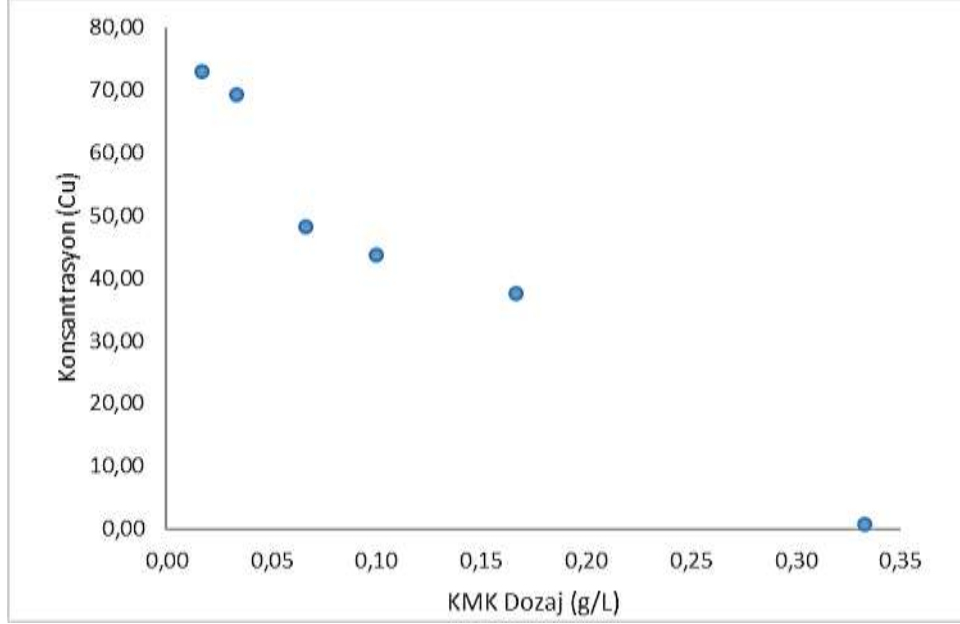
Şekil 4.33: Bakır Giderimi İçin KMK Dozaj Deneyi



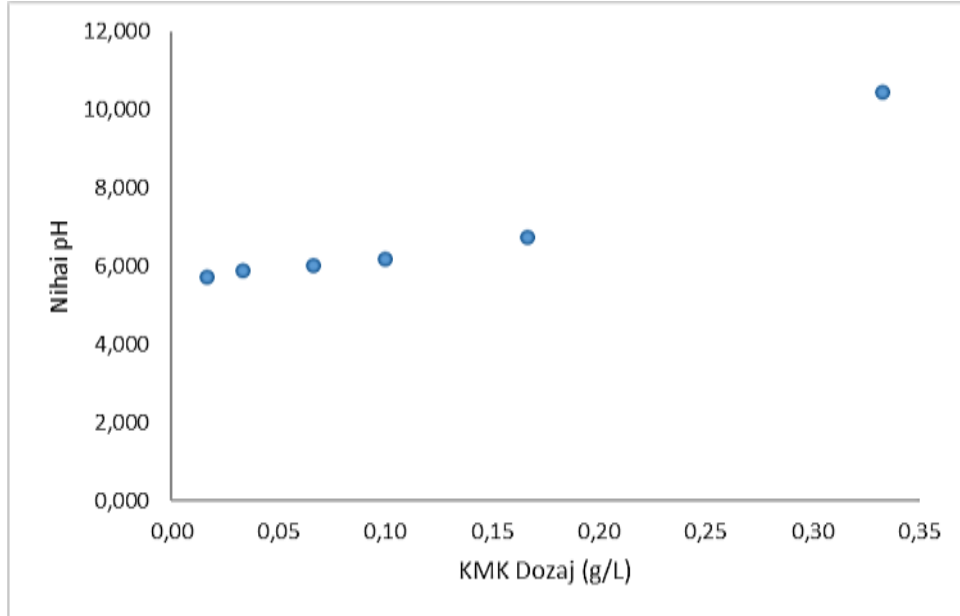
Şekil 4.34: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen verim grafiği

Bakır (Cu) için yapılan KMK dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde yaklaşık 100 mg/L bakır (Cu) başlangıç konsantrasyonunda 0,333 g/L KMK dozajında verim %99,30 olarak gözlemlenmiştir. Maksimum çöktürme 0,333 g/L KMK dozajında gerçekleşmiştir. Çalışma sonuçları incelendiğinde artan dozaja bağlı olarak pH değerinde artışın söz konusu olduğu ve bu artışa paralel olarak ta giderim veriminin arttığı görülmektedir. Literatürde bakırın hidroksit çöktürmesi ile giderimi için en uygun pH aralığının 9-10,3 şeklinde olduğu belirtilmektedir (Öztürk ve diğ, 2005). Bu doğrultuda deneyler neticesinde 0,333 g/L KMK dozajında elde edilen 10,4 pH değerinde giderimin maksimum olduğu

grafiklerden de anlaşılabilir. Literatürde yapılmış olan bir çalışmada da $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılarak 0,350 g/L dozajda %99,99 giderim verimi elde edildiği ve bu verimde pH değerinin 11,5 olduğu belirtilmektedir (Chen ve diğ., 2018).



Şekil 4.35: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği



Şekil 4.36: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen KMK dozajı- Nihai pH grafiği

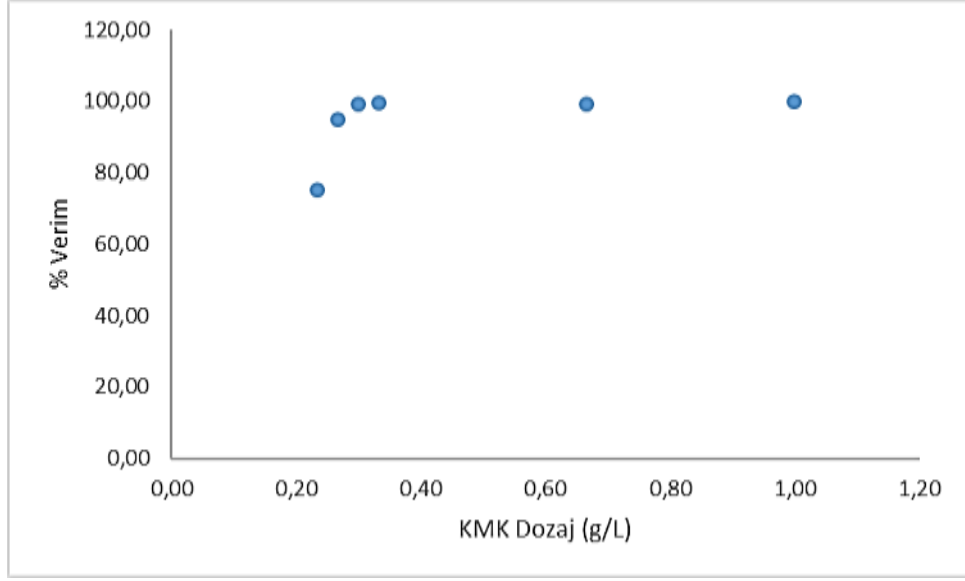
Bu bağlamda KMK ile elde edilmiş olan %99.30'luk giderim veriminin oldukça tatmin edici olduğu söylenebilir. Deneyle sonunda beherler görsel olarak incelendiğinde, çöktürülmüş atıksuda herhangi bir bulanıklığın bulunmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca dip kısmında çökelmeye bağlı olarak mavi renkli çöktürümlerin oluştuğu ve giderimin en yüksek olduğu 0,333 g/L'lik (0,1 g/300 mL) en sağdaki beherin dip kısmında ciddi bir çökelme meydana geldiği net bir şekilde görülmektedir.

4.3.2 Kimyasal Çöktürmeye KMK Dozajının Etkisi (0,07 – 0,3 g)

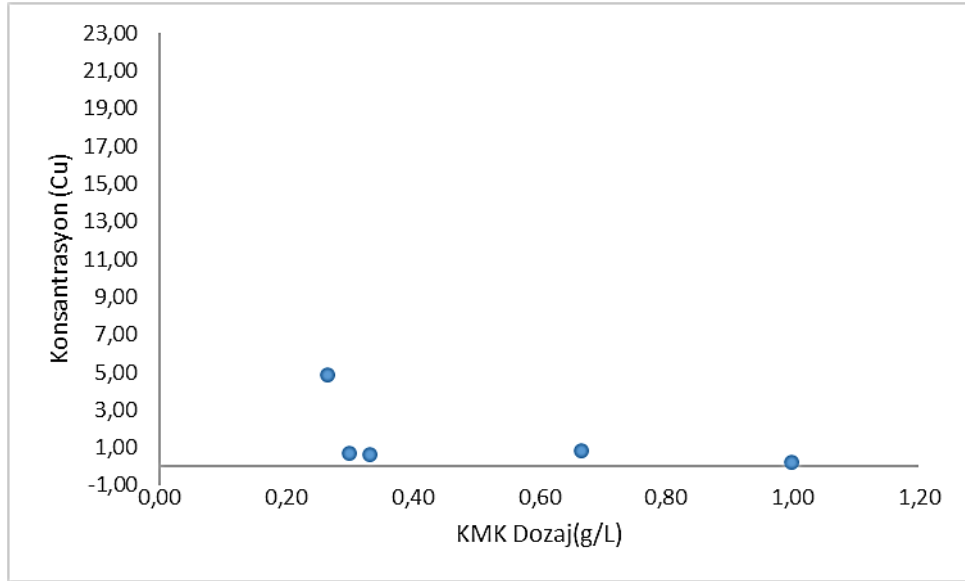
Bakır (Cu) için KMK dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı KMK miktarları kullanılarak (0,07-0,08-0,09-0,1-0,2-0,3 g) içinde yaklaşık 100 mg/L bakır bulunan 300 mL bakır (Cu) stok çözeltisine eklenerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10 rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çökelme süresinden sonra (Şekil 4.37) numuneler filtre kağıdından süzülerek bakır (Cu) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan numunelerin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.38, 4.39 ve 4.40'ta sunulmaktadır.



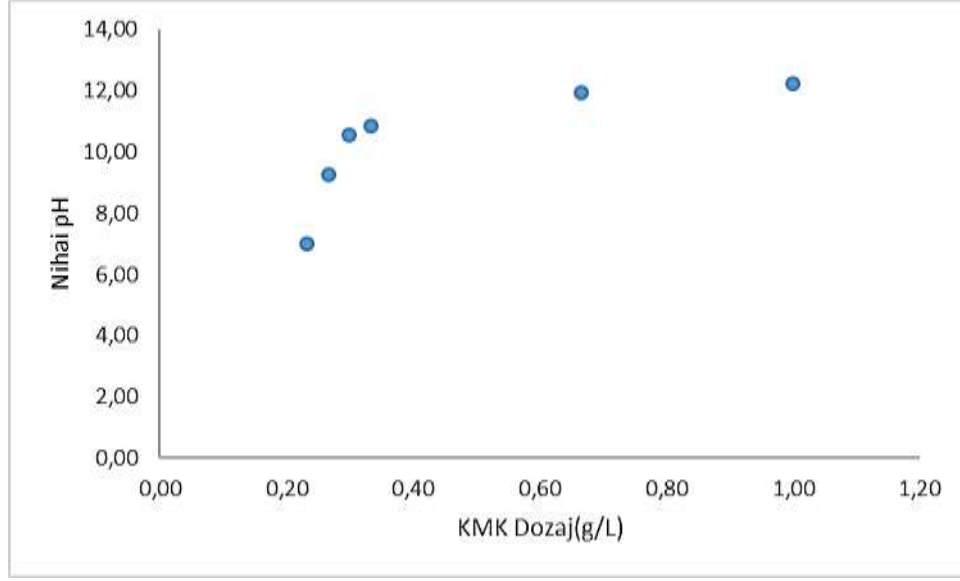
Şekil 4.37: Bakır Giderimi İçin KMK Dozajı Deneyi



Şekil 4.38: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.39: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği



Şekil 4.40: Bakır (Cu) için uygulanan KMK tozu dozajına göre elde edilen Nihai pH grafiği

Bakır (Cu) için yapılan KMK dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde yaklaşık 100 mg/L bakır (Cu) başlangıç konsantrasyonunda 1 g/L KMK dozajında verim %99,77 olarak gözlemlenmiştir. Maksimum çöktürme 1 g/L KMK dozajında gerçekleşmiştir. KMK'nın ortam pH'ını arttırdığı ve artan pH'a göre ağır metal gideriminin de doğru orantılı arttığı görülmüştür. Bir önceki deney aralığı da dikkate alındığında verimlerde ciddi bir değişim olmaması nedeniyle optimum dozaj 0,333 g/L olarak belirlenmiş ve bu deneyde de bir önceki deneye benzer şekilde giderim verimi bu dozaj için %99,37 olarak tespit edilmiştir. Atıksu pH değerinin 12 ve üzerine çıktığı 0,666 ve 1 g/L dozajlarında deney sonrası bulanıklık gözlemlenmiştir. 0,666 g/L dozajının altında ise herhangi bir bulanıklık söz konusu değildir. Beherlerin dip kısımları incelendiği takdirde çökelmenin görsel olarak ta net bir şekilde gözlemlenebildiği söylenebilir.

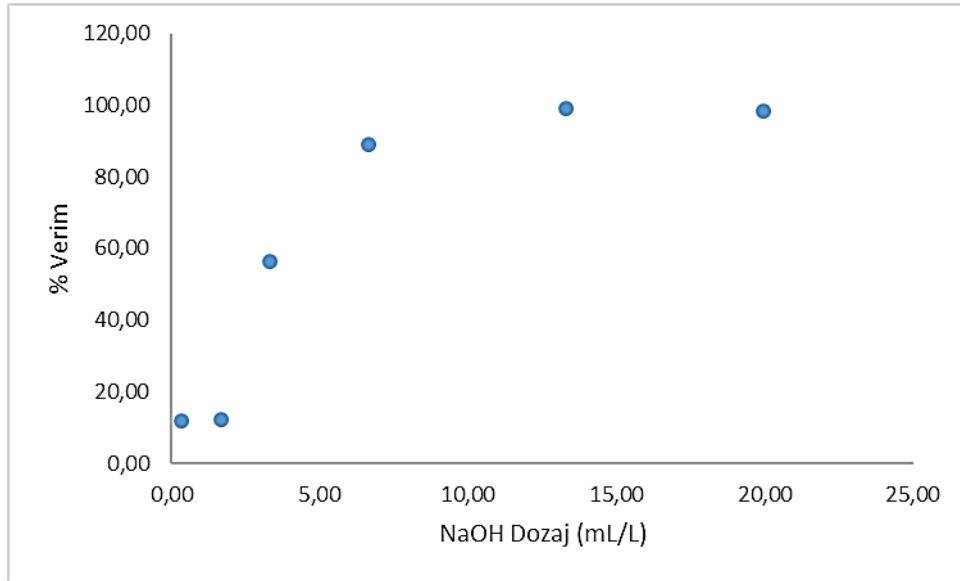
4.3.3 Kimyasal Çöktürmeye NaOH (0,5 N) Dozajının Etkisi

Bakır (Cu) için 0,5 N NaOH dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı 0,5 N NaOH miktarları kullanılarak (0,1-0,5-1-2-4-6 mL) içinde yaklaşık 100 mg/L bakır bulunan 300 mL bakır (Cu) stok çözeltisine eklenerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10

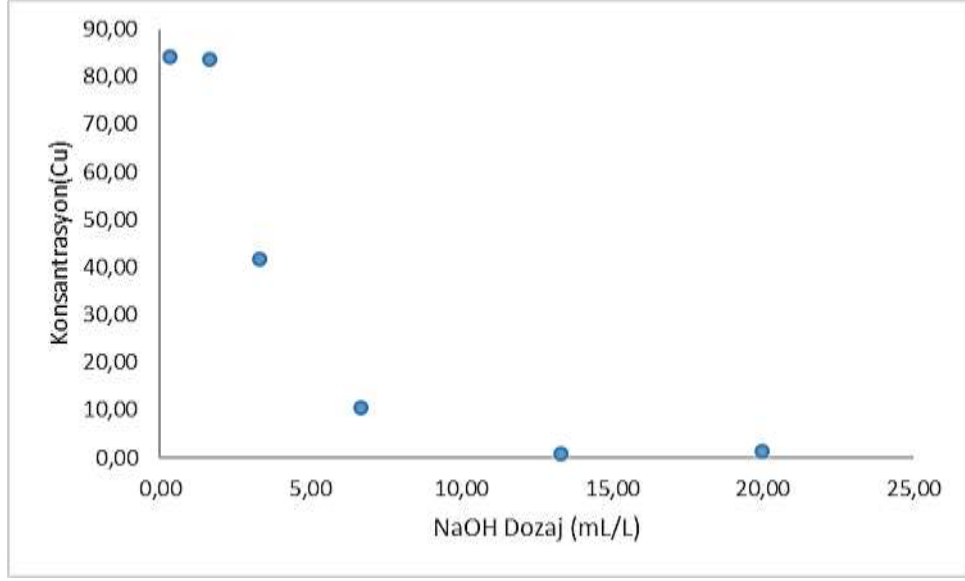
rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çöktürme süresinden sonra (Şekil 4.41) numuneler filtre kağıdından süzülerek bakır (Cu) kiti uygulandı. Kit uygulanan numunelerin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçüldü. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarıldı. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.42, 4.43 ve 4.44'te verilmektedir.



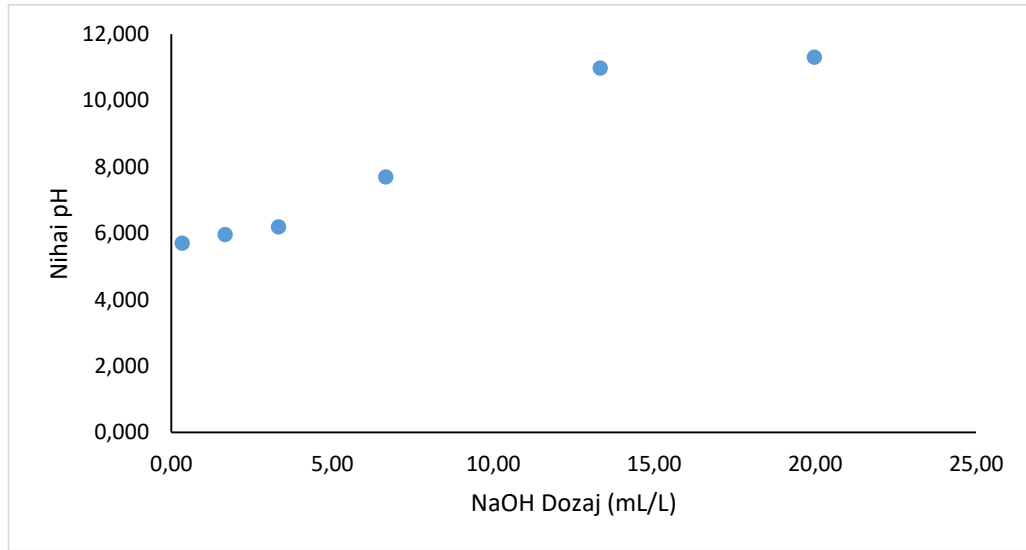
Şekil 4.41: Bakır Giderimi İçin NaOH Dozaj Deneyi



Şekil 4.42: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.43: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği



Şekil 4.44: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N NaOH dozajına göre elde edilen Nihai pH grafiği

Bakır (Cu) için yapılan 0,5 N NaOH dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde yaklaşık 100 mg/L bakır (Cu) başlangıç konsantrasyonunda 13,32 mL/L 0,5 N NaOH dozajında verim %99,11 olarak gözlemlenmiştir. Arıtım sonrası numuneler görsel olarak incelendiğinde çalışılan tüm dozajlarda herhangi bir bulanıklığın oluşmadığı görülmektedir. Dip kısımda meydana gelen çökeltiler net bir şekilde teşhis edilebilmektedir. Artan dozaj ve pH'a bağlı

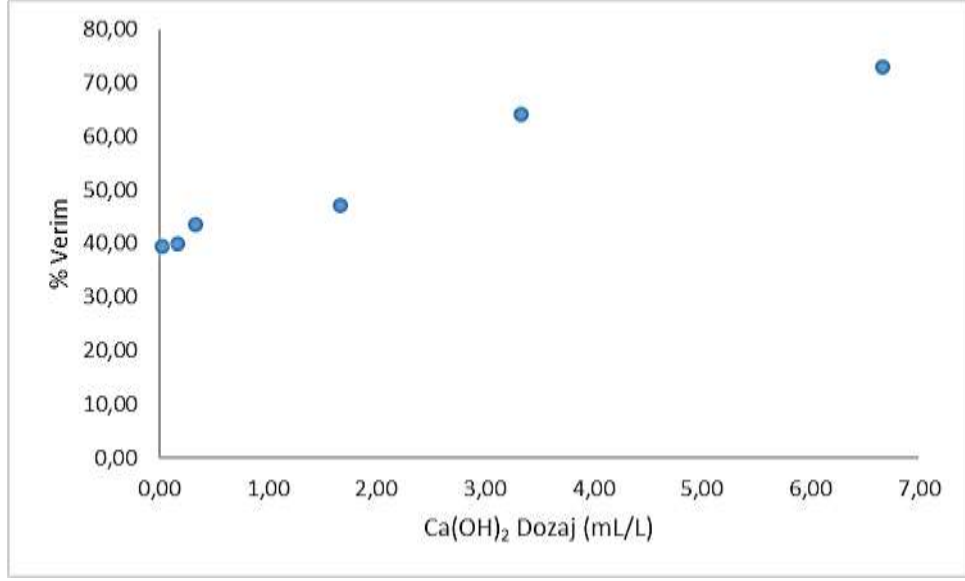
olarak çökelti miktarlarında da artışın olduğu dikkat çekmektedir. Analiz sonuçlarına göre de görsel olan bu durum doğrulanmıştır. 11 pH'ına sahip olan 13,32 mL/L dozajındaki deney seti ile elde edilen %99,11 değerindeki giderim verimi 10,3 ve üzerindeki pH değerlerinde dahi bakırın çözünürlüğünün düşük kaldığını akla getirmekte ve hidroksit çöktürmesinin başarılı olduğunu ortaya koymaktadır.

4.3.4 Kimyasal Çöktürmeye Ca(OH)_2 (0,5 N) Dozajının Etkisi (0,01–2 mL)

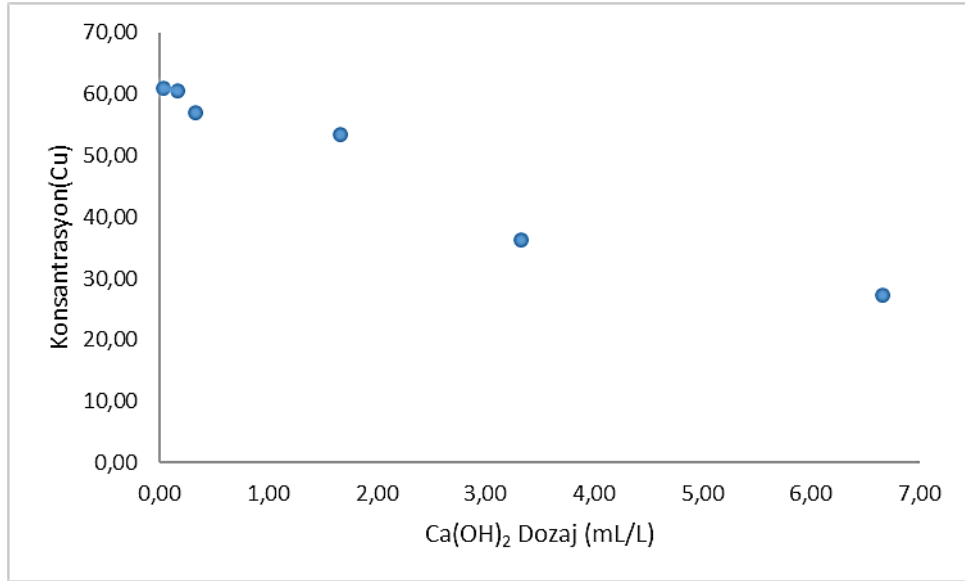
Bakır (Cu) için 0,5 N Ca(OH)_2 dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı 0,5 N Ca(OH)_2 miktarları kullanılarak (0,01-0,05-0,1-0,5-1-2 mL) içinde yaklaşık 100 mg/L bakır bulunan 300 mL bakır (Cu) stok çözeltisi ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10 rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.45) numuneler filtre kağıdından süzülerek bakır (Cu) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan numunelerin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.46, 4.47 ve 4.48'de verilmektedir.



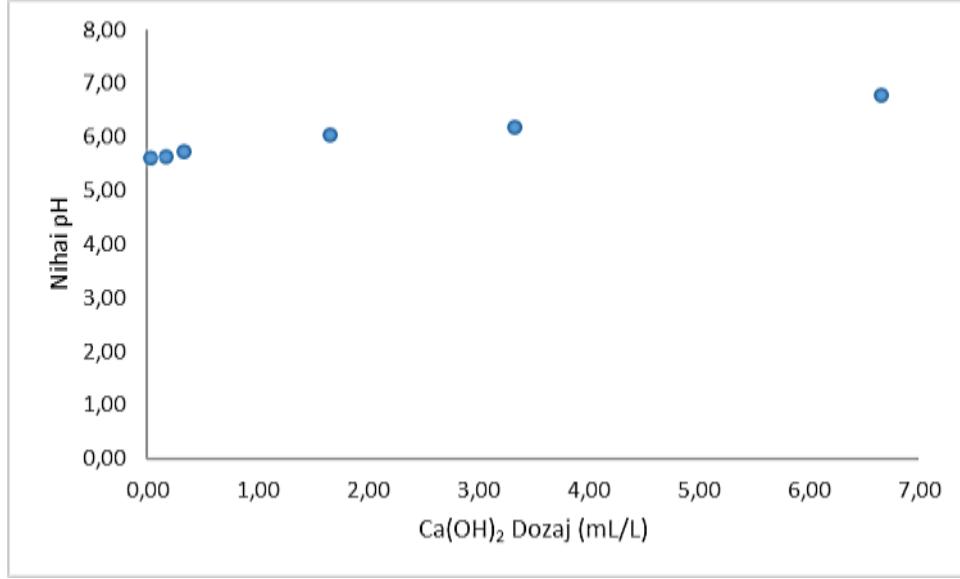
Şekil 4.45: Bakır Giderimi için Ca(OH)_2 Dozaj Deneyi



Şekil 4.46: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajına göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.47: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği



Şekil 4.48: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajına göre elde edilen Nihai pH grafiği

Bakır (Cu) için yapılan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde 100 mg/L bakır (Cu) başlangıç konsantrasyonunda 6,66 mL/L 0,5 N Ca(OH)₂ dozajında verim %72,89 olarak bulunmuştur. Maksimum çöktürme 6,66 mL 0,5 N Ca(OH)₂ dozajında gerçekleşmiştir. Burada dozaj ve pH değerinin artmasına bağlı olarak verimde net bir artış gözlemlenmiştir. Maksimum verim olan %72,89’da atıksu pH değeri 6,8’e ulaşmıştır. Dozajın daha da artırılması durumunda optimum pH değerlerinin yakalanması mümkün olacaktır.

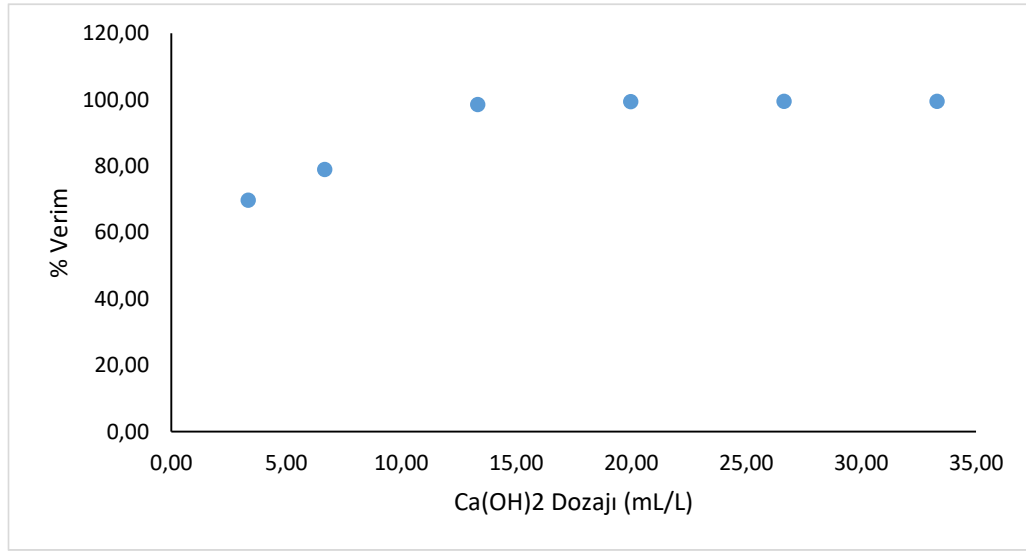
4.3.5 Kimyasal Çöktürmeye Ca(OH)₂ (0,5 N) Dozajının Etkisi (1-10 mL)

Bakır (Cu) için 0,5 N Ca(OH)₂ dozajının kimyasal çöktürme üzerine etkisini belirlemek amacıyla farklı 0,5 N Ca(OH)₂ miktarları kullanılarak (1-2-4-6-8-10 mL) içinde yaklaşık 100 mg/L bakır bulunan 300 mL bakır (Cu) stok çözeltisine eklenerek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm 5 dk, sonra 10 rpm 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme deneyi çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.49) numuneler filtre kağıdından süzülerek bakır (Cu) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan numunelerin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır.

Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.50, 4.51 ve 4.52’de sunulmaktadır.

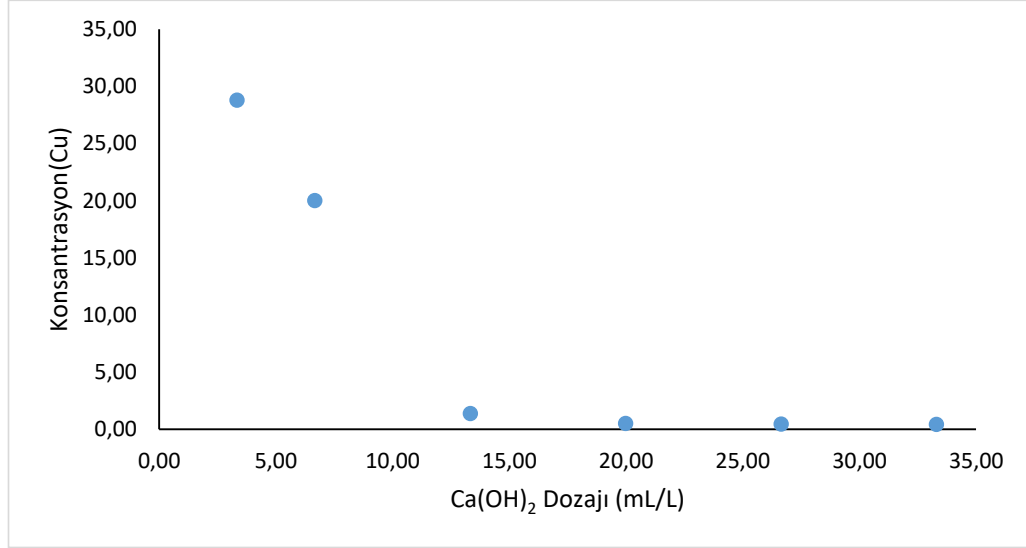


Şekil 4.49: Bakır Giderimi İçin Ca(OH)₂ Dozaj Deneyi

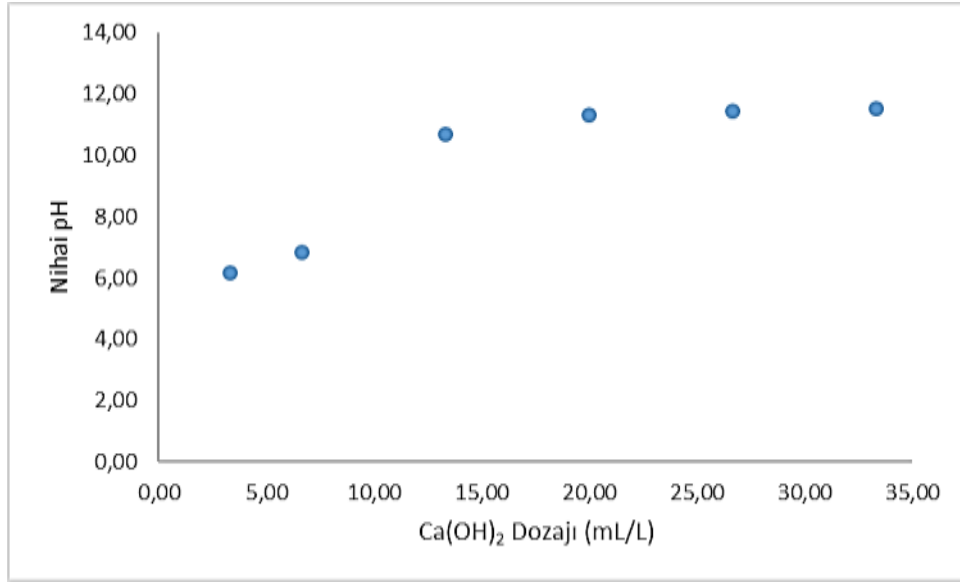


Şekil 4.50: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajına göre elde edilen verim grafiği

Bakır (Cu) için yapılan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajının kimyasal çöktürmeye etkisi deneyi sonucu oluşan grafikler incelendiğinde yaklaşık 100 mg/L bakır (Cu) başlangıç konsantrasyonunda 19,98 mL/L 0,5 N Ca(OH)₂ dozajında verim %99,45 olarak gözlemlenmiştir. Optimum çöktürme 19,98 mL/L 0,5 N Ca(OH)₂ dozajında gerçekleşmiştir. Sonrasında verimde belirgin bir artış olmamıştır. Deney sonrası beherler incelendiği takdirde atıksuda herhangi bir bulanıklığın bulunmadığı ve çökelmenin kap dibinde net bir şekilde görülebildiği söylenebilir.



Şekil 4.51: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajına göre elde edilen bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği

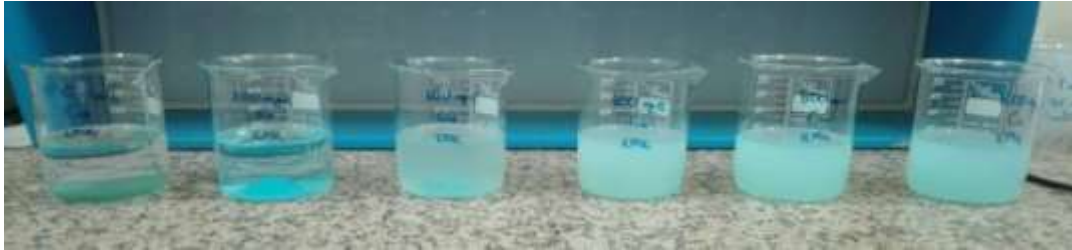


Şekil 4.52: Bakır (Cu) için uygulanan 0,5 N Ca(OH)₂ dozajına göre elde edilen Nihai pH grafiği

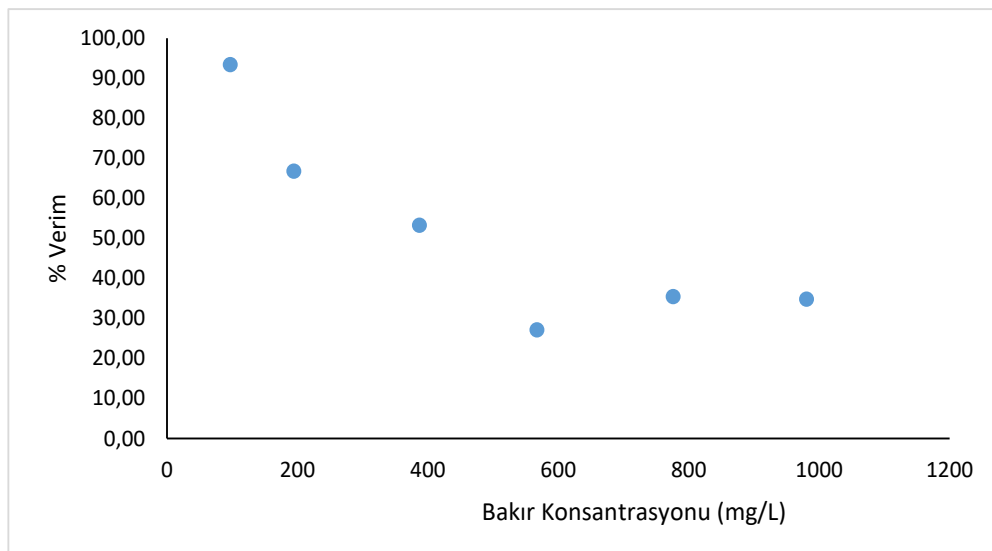
Çalışma neticesinde Ca(OH)₂ dozajındaki artışla birlikte pH değerinin de artış gösterdiği görülmekte olup, bunun beklenen bir durum olduğu söylenebilir. Deney sonrası pH değerleri incelendiğinde ise etkin giderimin 10,7- 11,5 pH aralığında gerçekleştiği ve bu değer aralıklarında genelde %98,5 ve üzeri giderim verimlerinin elde edildiği görülmektedir. Bu pH aralıklarında yüksek verimlerin söz konusu olabileceği literatür ile de bağdaşmaktadır (Chen ve diğ., 2018).

4.3.6 Kimyasal Çöktürmeye Başlangıç Bakır Konsantrasyonunun Etkisi (97 – 981 mg/L)

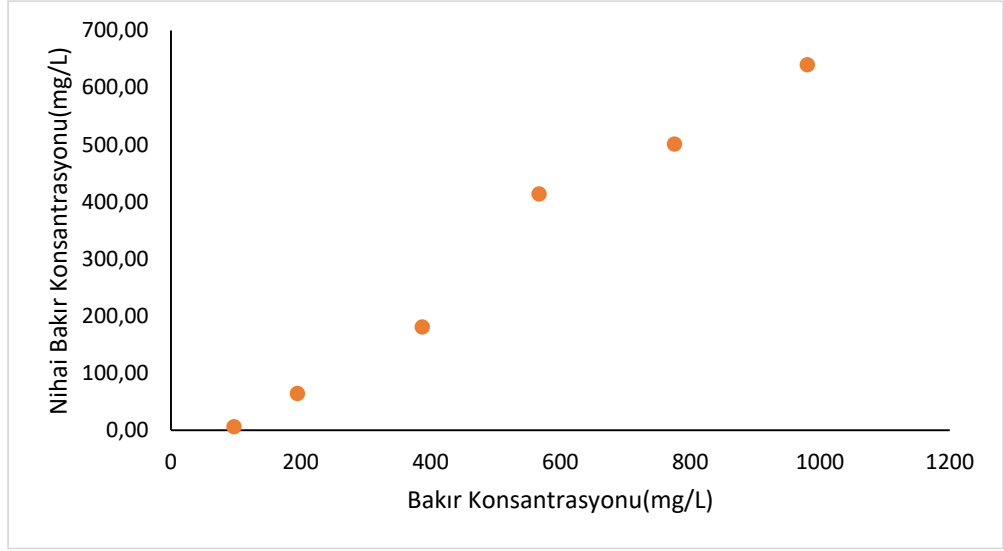
0,333 g/L KMK dozunun farklı bakır (Cu) başlangıç konsantrasyonlarına (97-195-387-568-776-981 mg/L) etkisini gözlemlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı bakır (Cu) konsantrasyonları içeren çözeltiler numaralandırılarak 600 mL'lik beherlere eklenmiştir. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm'de 5 dk, sonra 10 rpm'de 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.53) filtre kağıdından süzülen numunelere bakır (Cu) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan her bir numunenin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.54, 4.55 ve 4.56'da gösterilmektedir.



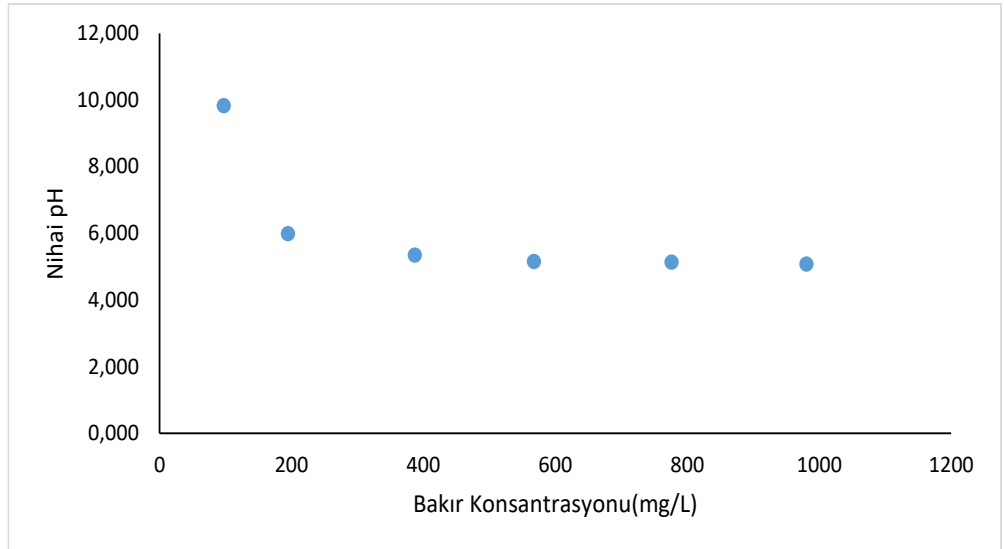
Şekil 4.53: Başlangıç Konsantrasyonunun Bakır Giderimine Etkisi Deneyi



Şekil 4.54: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.55: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen Nihai Bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği



Şekil 4.56: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen Nihai pH grafiği

Bakır (Cu) için yapılan başlangıç bakır (Cu) konsantrasyonu çalışması sonucunda grafikler incelendiğinde, bakır (Cu) konsantrasyonunun artmasıyla beraber çöktürme kapasitesinde artış görülmüş olmasına rağmen verimde azalma görülmüştür. Bunun beklenen bir durum olduğu önceki çalışmalarla da ortaya konmuştur. Bakır (Cu) çözeltisinin yoğunluğu arttıkça KMK tozunun çöktürme etkisi azalmıştır. 97 mg/L

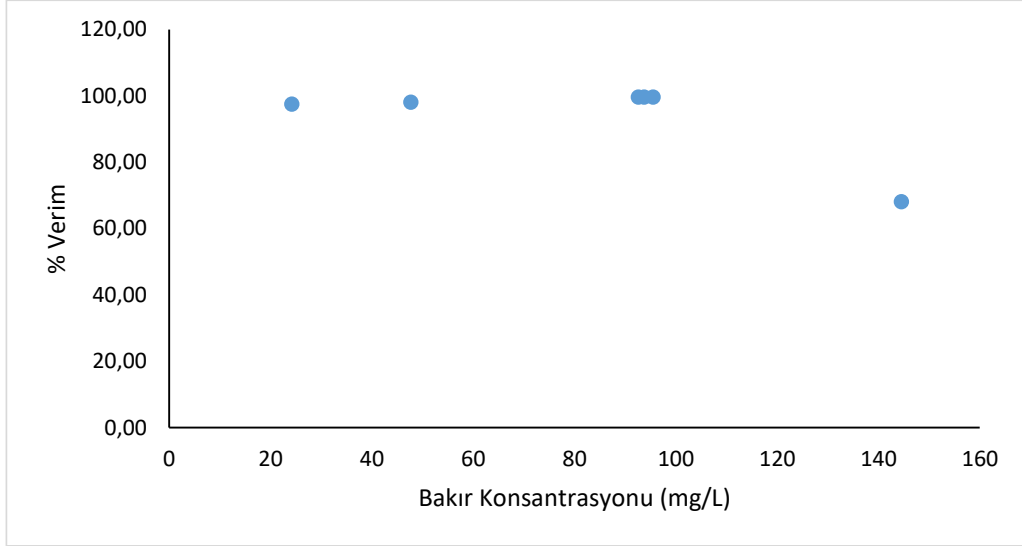
başlangıç bakır (Cu) konsantrasyonunda verim %93,41 olarak gözlemlenmiştir. Konsantrasyonun en yüksek olduğu 981 mg/L'lik beherde giderim verimi oldukça düşük olup sadece %34,75'de kalmıştır. Bu noktada söz konusu 0,333 g/L'lik dozajın 100 mg/L ve altındaki bakır konsantrasyonlarının düşürülmesi için uygun olduğu sonucuna varılabilir. Özellikle atıksu içeriğinin oldukça değişken olduğu endüstriyel tesislerde, atıksudaki bakır konsantrasyonu sürekli takip edilmeli ve mutlak suretle kirlilik yükündeki değişim durumunda dozaj ayarı yapılmalıdır.

4.3.7 Kimyasal Çöktürmeye Başlangıç Bakır Konsantrasyonunun Etkisi (24 – 145 mg/L)

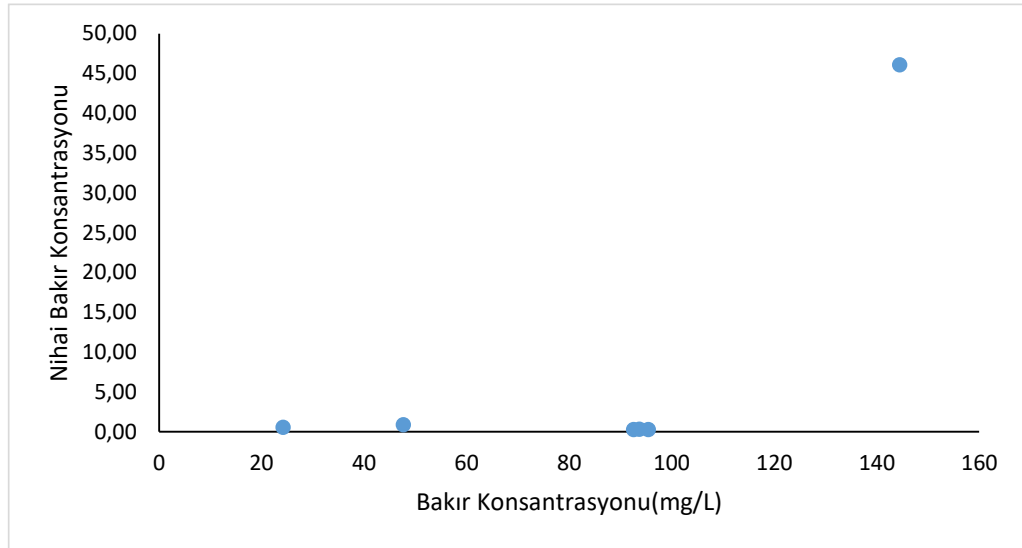
0,333 g/L KMK dozunun farklı bakır (Cu) başlangıç konsantrasyonlarına (24-48-93-94-96-145 mg/L) etkisini gözlemlmek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır. Farklı bakır (Cu) konsantrasyonları içeren çözeltiler numaralandırılarak 600 mL'lik beherlere eklenmiştir. Karıştırma hızı ve süresi önce 200 rpm'de 5 dk, sonra 10 rpm'de 15 dk olacak şekilde kimyasal çöktürme çalışmaları yürütülmüştür. 60 dakika çökeltme süresinden sonra (Şekil 4.57) filtre kağıdından süzülen numunelere bakır (Cu) kiti uygulanmıştır. Kit uygulanan her bir numunenin fotometre cihazında mg/L değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda verim grafiği çıkarılmıştır. Verim, konsantrasyon değişimi ve pH grafikleri Şekil 4.58, 4.59 ve 4.60'ta verilmektedir.



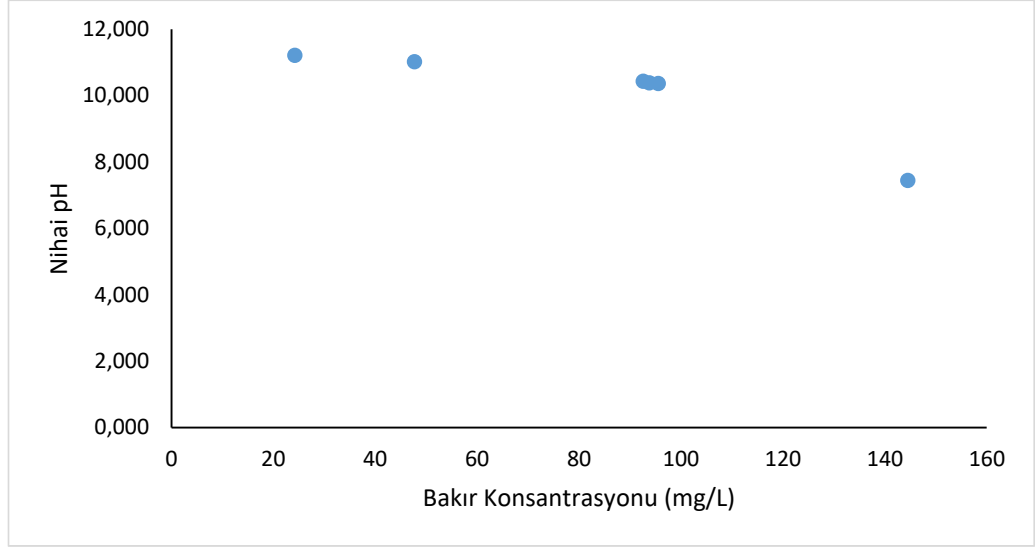
Şekil 4.57: Başlangıç Konsantrasyonunun Bakır Giderimine Etkisi Deneyi



Şekil 4.58: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen verim grafiği



Şekil 4.59: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen Nihai Bakır (Cu) konsantrasyonu grafiği



Şekil 4.60: Bakır (Cu) için uygulanan başlangıç konsantrasyonuna göre elde edilen Nihai pH grafiği

Bakır (Cu) için yapılan başlangıç bakır (Cu) konsantrasyonu çalışması sonucunda grafikler incelendiğinde, düşük bakır konsantrasyonlarında verimin genelde %97,5 ve üzerinde seyrettiği görülmektedir. Özellikle optimum dozaj olan yaklaşık 100 mg/L konsantrasyonu ile yapılan üç deneyde de çok yakın sonuçlar elde edilmiş olup, bu durum deneylerin tekrarlanabilirliği için olumlu olarak kabul edilmektedir. Ortalama 94 mg/L olan başlangıç bakır konsantrasyonlarında pH 10,4'te ortalama %99,65 giderim verimi oldukça yeterli olarak görülmektedir. Düşük konsantrasyonlarda giderim veriminde herhangi bir problem bulunmazken, 94 mg/L'nin üzerine çıkıldığında, 145 mg/L değerinde giderim verimi %68,10'a ve pH değeri ise 7,4'e gerilemiştir. Deney sonrası beherler incelendiği takdirde herhangi bir bulanıklık oluşumu gözlemlenmezken, özellikle yaklaşık 100 mg/L'lik üç beherde de iyi bir çökeltme meydana geldiği dipteki çökeltiden görsel açıdan anlaşılmaktadır. 146 mg/L'lik çözeltide de çökelti net bir şekilde görülmekle birlikte mevcut dozajın bu bakır konsantrasyonu düzeyi ile yeterli reaksiyonu gerçekleştirmediği ve böylelikle verimin düştüğü söylenebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ağır metal gideriminde kullanılan NaOH ve Ca(OH)₂ kimyasal çöktürücüleri ile çevre dostu doğal bir madde olan kalsine midye kabuğu kullanılarak, Pb, Ni ve Cu içeren atıksulardan bu ağır metallerin kimyasal çöktürme yöntemiyle giderimi üzerine deneyler yapılmıştır.

Kalsine midye kabuğu kullanımındaki amaç nispeten daha pahalı ve operasyonel olarak zorluk çıkartan kimyasal çöktürücülere alternatif olarak ucuz ve kolay bulunabilen bir doğal materyal belirlemektir. NaOH, Ca(OH)₂ ve KMK ile yapılan deneylerde farklı çöktürücü dozajlarında ve başlangıç ağır metal konsantrasyonlarında çalışılmış ve KMK'nın kimyasal çöktürme yöntemi için ekonomik ve uygulanabilir bir materyal olup olmadığı sonucuna varılmak istenmiştir. Kurşun giderimi deneyinde ağır metal konsantrasyonu yaklaşık 100 mg/L'de sabit tutulup farklı katı ve sıvı KMK dozlarında deneyler yapılmış sıvı KMK için 3,33 mL/L'de %98,36, katı KMK için 0,1 g/L'de %98,79 optimum giderim verimi elde edilmiştir. Bu sonuçlar NaOH ve Ca(OH)₂ çöktürücüleri ile kıyaslandığında kurşun giderimi için KMK'nin etkili bir doğal çöktürücü olduğu görülmektedir. Optimum KMK dozajının 0,1 g/L olarak belirlenmesinden sonra 194-388-776 mg/L konsantrasyonlarında deneyler yapılmış ve 194 mg/L'de %83,21 ile en yüksek kurşun gideriminin olduğu görülmüştür. Sabit dozajda ağır metal konsantrasyonu arttıkça giderim veriminin azaldığı anlaşılmıştır.

Nikel giderimi deneyinde ağır metal konsantrasyonu yaklaşık 100 mg/L'de sabit tutulup farklı katı KMK dozajlarında deneyler yapılmış ve 0,333 g/L KMK dozajında %99,19 giderim verimi elde edilmiştir. NaOH ve Ca(OH)₂ çöktürücüleri ile kıyaslandığında nikel giderimi için KMK'nın etkili bir doğal çöktürücü olduğu görülmüştür. Optimum KMK dozajının 0,333 g/L olarak belirlenmesinin ardından 24-48-95-97-148 mg/L konsantrasyonlarında deneyler yapılmış ve ortalama 96 mg/L'de %99,67 ile en fazla giderim olduğu görülmüştür.

Bakır giderimi deneyinde ağır metal konsantrasyonu yaklaşık 100 mg/L olarak alınarak farklı katı KMK dozlarında deneyler yapılmış katı KMK için 0,333 g/L'de %99,30 maksimum giderim verimi elde edilmiştir. Bu sonuçlar NaOH ve Ca(OH)₂ çöktürücüleri ile karşılaştırıldığında bakır giderimi için KMK'nin etkili bir doğal

çöktürücü olduğu anlaşılmıştır. Optimum KMK dozajının 0,333 g/L olarak belirlenmesinden sonra 24-48-93-94-96-97-145-195-387-568-776-981 mg/L konsantrasyonlarında deneyler yapılmış ve ortalama 95 mg/L bakır konsantrasyonunda en fazla giderim olduğu görülmüştür. Ağır metal konsantrasyonu arttıkça giderim veriminin azaldığı anlaşılmıştır. Tüm bu deney sonuçları göz önünde bulundurulduğunda kalsine midye kabuğunun kurşun, bakır, metal gideriminde etkili bir doğal materyal olduğu ve kimyasal çöktürücülere alternatif olabileceği sonucuna varılabilir. Çalışmaların aynı konsantrasyonlarda tekrar edilmesi neticesinde oldukça benzer sonuçların elde edilmesi doğrultusunda KMK ile kimyasal çöktürme işleminin tekrarlanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Bundan sonra gerçekleştirilecek olan çalışmalarda karıştırma hızı, temas süresi, sıcaklık vb. çeşitli değişkenlerin arıtım üzerindeki etkisi incelenebilir. Kurşun ağır metalinin giderimi esnasında ortaya çıkan bulanıklık problemi büyük önem teşkil etmekte olup, bu bulanıklığın giderilmesi için KMK'nın yanında farklı kimyasallarında kullanıldığı çeşitli çalışmalar gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada sentetik atıksu ile çalışılmış olup, söz konusu ağır metalleri içeren gerçek ölçekli endüstriyel bir atıksu ile deneysel çalışmalar yürütülebilir. Ağır metallerin daha kompleks bir yapı içerisinde birbiri ile karışım halinde bulunduğu bir atıksu kullanılarak KMK'nın etkinliği test edilebilir. Kesikli deneysel çalışmalara ek olarak sürekli işletim prensibinde çalışmalar gerçekleştirilerek uygulamaya dönük çalışmalar yapılabilir. Pilot ölçekli işletim ile KMK'nın gerçek ölçekte uygulanabilirliğinin ortaya konulması için çalışmaların yapılması önerilmektedir. Ayrıca kimyasal oksidasyon işlemlerinde alkali çöktürücü olarak KMK'nın kullanımının incelenmesi de bir başka çalışma konusu olabilir.

6. KAYNAKLAR

Abdullah N., Yusof N., Lau W.J., Jaafar J., İsmail A.F., “Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane Technologies”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 17-38, (2019).

Al-Saydeh S., El-Naas M., Zaidi S., “Copper removal from industrial wastewater: A comprehensive review” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 56, 35-44, (2017).

Azabou, S., Mechichi, T. and Sayadi, S., ‘Zinc precipitation by heavy-metal tolerant sulfate-reducing bacteria enriched on phosphogypsum as a sulfate source’, *Minerals Engineering*, 20, 2, 173–178, (2007).

Azimi A., Azari A., Rezakazemi M., Ansarpour M., “Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review”, 4, 1, 37-59, (2017).

Baltpurvins K.A., Burns R.C., Lawrance G.A., Stuart A.D., “Effect of electrolyte composition on zinc hydroxide precipitation by lime”, *Water Research*, 31, 5, 973-980, (1997).

Bhattacharyya, D., Moffitt, M., Grieves R.B., “Charged Membrane Ultrafiltration of Toxic Metal Oxyanions and Cations from Single- and Multisalt Aqueous Solutions”, *Sep. Sci. Technol.*, 13, 5, 449-463, (1978).

Carolin C., Kumar P., Saravanan A., Joshiba G., Maushad M., “Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5, 3, 2782-2799, (2017).

Charerntanyarak, L., “Heavy metals removal by chemical coagulation and precipitation”, *Water Science and Technology*, 39, 10–11, 135-138, (1999).

Chen H., Zhao J., Dai G., Wu J., Yan H., “ Adsorption characteristics of Pb (II) from aqueous solution onto a natural biosorbent, fallen Cinnamomum camphora leaves” *Desalination*, 262, 1–3, 174-182, (2010).

Chen Q., Yao Y., Li X., Lu J., Zhou J., Huang Z., “Comparison of heavy metal removals from aqueous solutions by chemical precipitation and characteristics of precipitates”, *Journal of Water Process Engineering*, 26, 289-300, (2018).

Chen, Q., Luo, Z., Hills, C., Xue, G., Tyrer, M., “Precipitation of heavy metals from wastewater using simulated flue gas: sequent additions of fly ash, lime and carbon dioxide”, *Water Research*, 43, 10, 2605–2614, (2009).

Coman V., Robotin B., İlea P., “Nickel recovery/removal from industrial wastes: A review” *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 229-238, (2013).

Dünder Y., Aslan R., “Yaşamı Kuşatan Ağır Metal Kurşunun Etkileri”, *Kocatepe Tıp Dergisi*, 6, 1-5, (2015).

El Haddad, M., Regti, A., Laamari, M. R., Slimani, R., Mamouni, R., Antri, S., Lazar, S., “Calcined mussel shells as a new and eco-friendly biosorbent to remove textile dyes from aqueous solutions” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45, 2, 533-540, (2014).

EPA, Wastewater Technology Fact Sheet Chemical Precipitation, (2000).

Erdem E., “Doğal Adsorban Olarak Tüf (Doğantarla-Aksaray) ile Sulardan Ağır Metal Gideriminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Aksaray, (2014).

Evliya H., “Atıksu Arıtma Sistemleri, Uygulamaları ve İşletilmeleri Kongresi” - TMMOB Makina Mühendisleri Odası Adana, (1994).

Fiyadh S., AlSaadi M., Jaafar W., AlOmar M., Fayaed S., Mohd N., Hin L., Shafie A., “Review on heavy metal adsorption processes by carbon nanotubes”, *Journal of Cleaner Production*, 230, 783-793, (2019).

Fu, F., Wang, Q., Tang, B., “Fenton and Fenton-like reaction followed by hydroxide precipitation in the removal of Ni (II) from Ni EDTA wastewater: a comparative study”, *Chemical Engineering Journal*, 155, 3, 769–774, (2009).

Fu, F., Xie, L., Tang, B., Wang, Q., Jiang, S., “Application of a novel strategy – Advanced Fenton-chemical precipitation to the treatment of strong stability chelated heavy metal containing wastewater”, *Chemical Engineering Journal*, 189, 283–287, (2012).

Fu, F., Zeng, H., Cai, Q., Qiu, R., Yu, J., Xiong, Y., “Effective removal of coordinated copper from wastewater using a new dithiocarbamate-type supramolecular heavy metal precipitant”, *Chemosphere*, 69, 11, 1783–1789, (2007).

Garbarino, J.R., Hayes, H., Roth, D., Antweider, R., Brinton, T.I., Taylor H., “Contaminants in the Mississippi river” *U.S. Geological Survey Circular*, Virginia, 1133, (1995).

Ghosh, P., Samanta, A.N., Ray, S., “Reduction of COD and removal of Zn²⁺ from rayon industry wastewater by combined electro-Fenton treatment and chemical precipitation” *Desalination*, 266, 1–3, 213-217, (2011).

Hamutoğlu R., Dinçsoy A.B., Cansaran Duman D., Aras S., “Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları”, *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69, 4, 235-253, (2012).

Harland, C.E., “Ion Exchange: Theory and Practice: Edition 2”, Royal Society of Chemistry, UK, (1994).

Ji L., Song W., Wei D., Jiang D., Cai L., Wang Y., Guo J., Zhang H., “Modified mussel shell powder for microalgae immobilization to remove N and P from eutrophic wastewater,” *Bioresource Technology*, 284, 36-42, (2019).

Jiang, C.Y., Sheng, X.F., Qian, M., Wang, Q.Y., “Isolation and characterization of a heavy metal-resistant Burkholderia sp. from heavy metal-contaminated paddy field soil and its potential in promoting plant growth and heavy metal accumulation in metal-polluted soil”, *Chemosphere*, 72, 2, 157–164, (2008).

Joseph L., Jun B.M., Flora R.V., Park C.M, Yoon Y., “Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review”, *Chemosphere*, 229, 142-159, (2019).

Kamran S., Shafaqat A., Samra H., Sana A., Samar F., Muhammed B.S., Saima A.B., Tauqeer H.M., “Heavy Metals Contamination and what are the Impacts on Living Organisms”, *Greener Journal of Environment Management and Public Safety*, 2, 4, 172-179, (2013).

Karayünlü Bozbaş, S., Boz, Y., “Low-cost biosorbent: Anadara inaequalis shells for removal of Pb(II) and Cu(II) from aqueous solution” *Process Saf. Environ. Protect.*, 103, 144-152, (2016).

Kolat F., “Ağır metal içeren atık suların çöktürme yöntemi ile arıtımı”, Kocaeli Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi *Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, , Kocaeli, (2008).

Kosarek, L., “Removal of various toxic heavy metals and cyanide from water by membrane processes,” In *Chemistry in Water Reuse*, Cooper, W.J.,ed. Michigan: Ann Arbor Science publishers Inc., (1981).

Kurniawan T., Chan G., Lo W., Babel S., “Physico–chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals” *Chemical Engineering Journal*, 118, 1–2, 83-98, (2006).

Levchuk İ., Marquez J., Sillanpaa M., “Removal of natural organic matter (NOM) from water by ion exchange – A review”, *Chemosphere*, 192, 90-104, (2018).

Mirbagheri, S.A., Hosseini, S.N., “Pilot plant investigation on petrochemical wastewater treatment for the removal of copper and chromium with the objective of reuse”, *Desalination*, 171, 1, 85–93, (2005).

Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U. “Atıksu Arıtımının Esasları”, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, (2005).

Pantsar Kallio M., Pia Reinikainen S., Oksanen M., “Interactions of soil components and their effects on speciation of chromium in soils”, *Analytica Chimica Acta*, 439, 1, 9-17, (2001).

Pendergast, M.M., Hoek E.M.V., “A review of water treatment membrane nanotechnologies” *Energy Environ. Sci.*, 4, 1946-1971, (2011).

Pionelli S., Rosen J.F., Chisolm J.J., “Management of childhood lead poisoning” *The Journal of Pediatrics*, 105, 4, 523-532, (1984).

Ramírez-Pérez, A.M., Paradelo, M., Nóvoa-Muñoz, J.C., Arias-Estévez, M., Fernández-Sanjurjo, M.J., Álvarez-Rodríguez, E., Núñez-Delgado, A., “Heavy metal retention in copper mine soil treated with mussel shells: Batch and column experiments”, *Journal of Hazardous Materials*, 248–249, 122-130, (2013).

Sato, T, Imaizumi, M., Kato, S., Taniguchi, Y., “RO Applications in wastewater reclamation for re-use”, *Desalination*, 23, 1-3, 65-76, (1977).

Seven T., Can B., Darende B., Ocak S., “Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği”, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1, 2, 91 – 103, (2018).

Sharma P., Dubey R., “Lead Toxicity in Plants” *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 35-52, (2005).

SKKY, SU KİRLİLİĞİ KONTROLÜ YÖNETMELİĞİ, Resmî Gazete Tarihi: 31.12.2004 Resmî Gazete Sayısı: 25687

Şengül, F., Küçükgül, E., Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. ÇMB., 2. Baskı, İzmir, (1990).

Taşar Ş., Kaya F., Özer A., “Biosorption of lead(II) ions from aqueous solution by peanut shells: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 2, 1018-1026, (2014).

Tünay, O., “Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler”, İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, (1996).

USEPA, National Primary Drinking Water Regulations United States Environmental Protection Agency, Washington, DC (2019).

Vardhan K., Kumar P., Panda R., “A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives”, *Journal of Molecular Liquids*, 290, 111197, (2019).

WHO, Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum World Health Organization, Geneva (2017).

Xu J., Cao Z., Zhang Y., Yuan Y., Lou Z., Xu X., Wang X., “A review of functionalized carbon nanotubes and graphene for heavy metal adsorption from water: Preparation, application, and mechanism”, *Chemosphere*, 195, 351-364, (2018).

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : AHMET CAN ÖZCAN

Doğum Yeri ve Tarihi : AYDIN - 1993

Lisans Üniversite : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

Elektronik posta : ahmet.canozcan@hotmail.com

İletişim Adresi : Topraklık Mah. Kayalık Cad. No : 23
Saadet Apt. Kat : 5 Daire : 7 Pamukkale /
DENİZLİ