



**T.C.**

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BATMANDA FAAL BULUNAN ATIK SU ARITMA  
TESİSLERİNDEN ALINAN ATIK VE ARITILMIŞ SU  
NUMUNELERİNİN AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Serbülent BALTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kimya Anabilim Dalı**

**AĞUSTOS-2019  
BATMAN  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Serbülent BALTAŞ tarafından hazırlanan “Batmanda Faal Bulunan Atık Su Arıtma Tesislerinden Alınan Atık ve Arıtılmış Su Numunelerinin Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması” adlı tez çalışması 08/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

**Başkan**  
Prof. Dr. Fevzi KILIÇEL

.....  


**Danışman**  
Dr. Öğr. Üyesi Beşir DAĞ

.....  


**Üye**  
Prof. Dr. Abdulkadir LEVENT

.....  


Yukarıdaki sonuçcu onaylarım.

.....  
  
Prof. Dr. Şahnaz TIGREK  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

Serbülent BALTAŞ

08/11/2019

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

#### BATMANDA FAAL BULUNAN ATIK SU ARITMA TESİSLERİNDEN ALINAN ATIK VE ARITILMIŞ SU NUMUNELERİNİN AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Serbülent BALTAŞ

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Beşir DAĞ

2019, 69 Sayfa

Jüri  
Dr. Öğr. Üyesi Beşir DAĞ  
Prof. Dr. Fevzi KILIÇEL  
Prof. Dr. Abdulkadir LEVENT

Bu çalışmada, Batman'da faal bulunan atık su arıtma tesislerinden alınan atık, arıtılmış ve temiz su örneklerinin bazı toksik ağır metal kirlilikleri araştırıldı. Su örnekleri Batman il sınırları içerisinde bulunan altı adet arıtma tesisinden alınarak etiketlenip pet kaplarda muhafaza edildi. Daha sonra süzülerek Katı faz ekstraksiyon yönteminin kolon tekniği kullanılarak, önceden tarafımızca sentezlenen adsorbent ile önderiştirilmesi sağlandı. Modifiye silika jel ile kolon yöntemi kullanılarak ağır metal elementlerinin zenginleştirilme şartları incelendi. Çözeltinin pH'ı, hacmi, akış hızı, elüsyon çözeltisi türü ve matriks iyonları gibi faktörlerin etkileri değerlendirilerek optimum zenginleştirme şartları saptandı. Geliştirilen zenginleştirme tekniği ile altı farklı arıtma tesislerinden alınan atık, arıtılmış ve temiz su örneklerinin Arsenik(As), Krom(Cr), Kobalt(Co) Kurşun(Pb), Nikel(Ni) ve Selenyum(Se) derişimleri ölçüldü. Metodun geçerliliği test edildikten sonra atık, arıtılmış ve temiz su örneklerinin yukarıda zikredilen eser elementlerin tayini Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre de okundu. Geri kazanım testleri, mikro konsantrasyon yöntemi ile tüm analitler için yapıldı ve absorbe edici çözelti olarak 2M HNO<sub>3</sub> asit çözeltisi kullanılarak %95 düzeyinde bir geri kazanım sağlandı. Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre ile girişimlerin minimum seviye ye indirilmesi için en önemli unsur olan emici çözelti olarak seyreltilmiş HNO<sub>3</sub>(nitrik asit) kullanıldı. Bazı elementlerin analizinde ICP-MS İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometri ile ölçüm yapılarak metodun geçerliliği test edildi

**Anahtar Kelimeler:** AAS, Atık su, arıtılmış su, ağır metal, katı faz, kolon

## **ABSTRACT**

## **MS THESIS**

### **INVESTIGATION OF HEAVY METAL POLLUTION OF WASTE AND TREATED WATER SAMPLES TAKEN IN BATMAN WASTE WATER TREATMENT PLANTS**

**Serbülent BALTAŞ**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
BATMAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY**

**Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Beşir DAĞ**

**2019, 69 Pages**

**Jury  
Dr. Öğr. Üyesi Beşir  
DAĞ Prof. Dr.Fevzi KILIÇEL  
Prof. Dr. Abdulkadir LEVENT**

In this study, some toxic heavy metal impurities of waste, treated and clean water samples taken from active wastewater treatment plants in Batman were investigated. Water samples were taken from six treatment plants within the borders of Batman province and labeled and stored in pet containers. It was then filtered to allow the solid phase extraction method to be preconcentrated with the adsorbent synthesized by us using the column technique. The enrichment conditions of heavy metal elements were investigated by using column chromatography with modified silica gel. The effects of factors such as pH, volume, flow rate, elution solution type and matrix ions of the solution were evaluated and optimum enrichment conditions were determined. With the enrichment technique developed, six samples were collected from different treatment plants. Arsenic (As), Cobalt (Co), Chromium (Cr), Lead (Pb), Nickel (Ni) and Selenium (Se) concentrations were measured. After testing the validity of the method, the determination of the above-mentioned trace elements of waste, treated and clean water samples was read in the Atomic Absorption Spectrophotometer. Recovery tests were performed for all analytes by microconcentration method and a recovery of 94% was achieved using 2M HNO<sub>3</sub> acid solution as the absorbing solution. Diluted HNO<sub>3</sub> (nitric acid) was used as the absorbing solution, which is the most important element to minimize interference with Atomic Absorption Spectrophotometer. Some elements were analyzed by ICP-MS Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry and compared.

**Keywords:** AAS, Waste water, treated water, heavy metal, solid phase, column

## ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında büyük desteklerini gördüğüm çok değerli hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Beşir DAĞ'a en içten duygularıyla teşekkür ediyorum. Çalışmalarımızın deneysel kısmını yaptığımız kimya anabilim dalı Laboratuvarında çok güzel bir çalışma ortamı sağlayan Anabilim dalı başkanımız Prof. Dr.Abdulkadir LEVENT'e çok teşekkür ediyorum.

Ayrıca tezin yazım aşamasında değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Kimya Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Hakan KIZILKAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek Lisans çalışmamın her aşamasında maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen ve sürekli beni motive eden meslektaşım ve arkadaşım Hamza UÇAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Dualarını her zaman yanımda hissettiğim sevgili aileme sonsuz sevgi ve minnetlerimi sunuyorum.

Serbülent BALTAŞ  
BATMAN-2019

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	x
ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Suyun Önemi .....	3
2.2. Suların Sınıflandırılması .....	3
2.2.1. Yüzeysel sular .....	3
2.2.2. Yeraltı suları .....	4
2.2.2.1. Yüksek kaliteli yeraltı suları (I. Sınıf) .....	5
2.2.2.2. Orta kaliteli yeraltı suları (II. Sınıf) .....	5
2.2.2.3. Düşük kaliteli yeraltı suları (III. Sınıf) .....	5
2.3. Suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	6
2.3.1. Suyun rengi .....	6
2.3.2. Bulanıklık.....	7
2.3.3. Tat ve koku .....	7
2.3.4. Elektiriksel iletkenlik.....	8
2.3.5. Toplam çözünmüş maddeler .....	8
2.3.6. pH.....	9
2.4. Dünya’da Su .....	9
2.5. Türkiye’de Su .....	10
2.5.1. Türkiye’deki su potansiyeli .....	11
2.6. Atık Sular.....	12
2.6.1. Endüstriyel atık sularda ağır metaller ve toksisite .....	12
2.7. Atık Suların Arıtılması.....	13
2.7.1. Kimyasal çökeltme .....	14
2.7.1.1. Hidroksit çökeltme.....	14
2.7.1.2. Sülfid çökeltme .....	15
2.7.2. İyon değişimi .....	15
2.7.3. Adsorpsiyon .....	16
2.7.4. Membran filtrasyonu.....	16
2.7.4.1. Ultrafiltrasyon .....	16
2.7.4.2. Ters osmoz.....	17
2.7.4.3. Nanofiltrasyon .....	17
2.7.5. Pıhtılaşma.....	17
2.7.6. Flotasyon (yüzdürme) .....	18
2.7.7. Elektrokimyasal yöntem .....	18
2.8. Ağır Metaller.....	19

2.8.1. Bazı önemli ağır metaller.....	20
2.8.1.1. Arsenik.....	20
2.8.1.2. Kadmiyum .....	21
2.8.1.3. Kobalt.....	21
2.8.1.4. Kurşun.....	21
2.8.1.5. Nikel.....	21
2.8.1.6. Selenyum .....	22
2.9. Ağır Metal Analizlerinde Kullanılan Zenginleştirme Metodları .....	22
2.9.1. Buharlaştırma.....	22
2.9.2. Sıvı-sıvı ekstraksiyon.....	23
2.9.3. Adsorpsiyon .....	23
2.9.3.1. Aktif karbon adsorbanları .....	24
2.9.3.2. Karbon nanotüplü adsorbanlar .....	24
2.9.3.3. Düşük maliyetli adsorbanlar .....	24
2.9.3.4. Bioadsorbanlar .....	24
2.9.4. Birlikte çöktürme .....	25
2.9.5. Reçine kolonundan geçirme.....	25
2.9.6. Katı faz ekstraksiyonu .....	26
2.10. Ağır Metallerin Belirlenmesinde Analitik Yöntemler .....	26
2.10.1. Atomik absorpsiyon spektrometrisi .....	27
2.10.1.1. AAS çalışma prensibi .....	28
2.10.2. AAS'nin analitik performansı.....	34
2.10.2.1. Duyarlık .....	34
2.10.2.2. Doğruluk .....	35
2.10.2.3. Kesinlik .....	35
2.10.2.4. Tayin sınırı .....	35
2.10.3. AAS ile elementlerin kantitatif tayini .....	35
2.10.3.1. Kalibrasyon grafiği yöntemi .....	36
2.10.3.2. Standart ekleme yöntemi .....	36
2.11. ICP-MS(Inductively Coupled Plasma – Mass pectrometer)=indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometrisi .....	37
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>38</b>
3.1. Ölçmelerde Kullanılan Alet, Malzeme ve Kimyasal Maddeler.....	38
3.2. Numune Toplama ve Hazırlama .....	38
3.3. Ligand Olarak Kullanılan Bileşiğin Sentezlenmesi.....	39
3.3.1. Hidrazit türevinin hazırlanması .....	39
3.3.2. Hidrazon türevinin senetezlenmesi .....	40
3.4. Katı Faz Ekstraksiyon ile Zenginleştirme.....	41
3.4.1. Kolon düzeneğinin hazırlanması .....	41
3.5. Örnek Çözeltiler İçin Uygun Deneysel Şartların Tespiti.....	41
3.5.1. Örnek çözelti pH'nın analit geri kazanımına etkisi .....	42
3.5.2. Geri alma çözeltisinin analit geri kazanma çözeltisine etkisi.....	42
3.5.3. Örnek çözelti hızının analit geri kazanma verimine etkisi .....	42
3.5.4. Örnek hacminin analit geri kazanma verimine etkisi .....	42
3.5.5. Analit geri kazanma verimine adsorban miktarının etkisi .....	43
3.5.6. Yabancı iyonların analit geri kazanma verimine etkisi .....	43
3.5.7. Adsorbsiyon kapasitesi ve adsorbsiyon modelleri.....	43
3.6. Ölçme Metodu .....	43

3.7. Standart Çözeltilerin Hazırlanması .....	44
3.8. Ölçmelerle İlgili Deneysel Parametreler.....	45
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>46</b>
4.1. Numunelerin Analizleri .....	46
4.2. Ölçülen Değerlerin Tablo Halinde Gösterilmesi .....	46
4.2.1. AAS ile ölçülen ağır metaller .....	46
4.2.3. Ölçülen ağır metallerin kalibrasyon grafikleri.....	49
4.3. Sonuçların Değerlendirilmesi .....	52
4.3.1. Arsenik (As).....	53
4.3.2. Kadmiyum (Cd) .....	53
4.3.3. Kobalt (Co) .....	54
4.3.4. Kurşun (Pb).....	54
4.3.5. Nikel (Ni).....	55
4.3.6. Selenyum (Se).....	55
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>56</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>58</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>69</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

%	:	Yüzde
°C	:	Santigrat derece
µg/L	:	Mikrogram/litre
As	:	Arsenik
Cd	:	Kadmiyum
Co	:	Kobalt
g/cm <sup>3</sup>	:	Gram/santimetreküp
g/ml	:	Gram/mililitre
g/mol	:	Gram/mol
km <sup>3</sup>	:	Kilometreküp
M	:	Molar
m <sup>3</sup>	:	Metreküp
mg/L	:	Miligram/litre
mg/mL	:	Miligram/mililitre
mmol	:	Milimol
N/m <sup>2</sup>	:	Newton/metrekare
Ni	:	Nikel
Pb	:	Kurşun
pH	:	Power of hydrogen (hidrojen gücü)
ppb	:	Milyarda bir kısım
ppm	:	Milyonda bir kısım
Se	:	Selenyum

### Kısaltmalar

ICP-MS	:	Endüktif Olarak Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi
AAS	:	Atomik Absorpsiyon Spektrometrisi
E.N.	:	Erime Noktası
FAAS	:	Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
MCL	:	Maksimum Kirlilik Seviyesi
USEPA	:	Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı

## ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER DİZİNİ

Şekil 2.1. Oyuk katot lambası.....	29
Şekil 2.2. Atomun uyarılma basamakları .....	29
Şekil 2.3. AAS şematik gösterimi .....	30
Şekil 2.4. Çift ışınlı AAS şematik gösterimi .....	30
Şekil 2.5. Alev aspirasyonu .....	31
Şekil 2.6. İçi boş grafit tüp .....	32
Şekil 2.7. Atomik absorpsiyon spektrometresi .....	33
Şekil 3.1. Numunelerin alındığı yerler .....	39
Şekil 3.2. Adsorbentin hazırlanması.....	40
Şekil 4.1. Arsenik için çizilen kalibrasyon grafiği .....	49
Şekil 4.2. Kadmiyum (Cd) için çizilen kalibrasyon grafiği.....	50
Şekil 4.3. Kobalt (Co) için çizilen kalibrasyon grafiği.....	50
Şekil 4.4. Nikel(Ni) için çizilen kalibrasyon grafiği .....	51
Şekil 4.5. Kurşun(Pb) için çizilen kalibrasyon grafiği .....	51
Şekil 4.6. Selenyum(Se) için çizilen kalibrasyon grafiği .....	52
Çizelge 2.1. Ülkemiz yüzeysel su kaynaklarının kalite kriterleri (Anonim, 2004).....	4
Çizelge 2.2. Toplam çözünmüş katı madde miktarına göre suların sınıflandırılması .....	8
Çizelge 2.3. Dünyadaki toplam su miktarlarının yüzdesi (Başkan, 2006) .....	10
Çizelge 2.4. Su kaynaklarının yeryüzünde dağılımı (Özbay ve Kavaklı, 2008) .....	10
Çizelge 2.5. Türkiye'deki su kaynakları ve potansiyeli .....	11
Çizelge 2.6. Türkiye'de çeşitli amaçlarla kullanılan su miktarları.....	12
Çizelge 2.7. En tehlikeli ağır metaller için MCL standartları .....	13
Çizelge 2.8. Önemli ağır metallerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	20
Çizelge 3.1. Kalibrasyon grafiği için hazırlanan standart karışım çözelti konsantrasyonları (ppm), 2M HNO <sub>3</sub> ortamında .....	44
Çizelge 3.2. AAS aleti ile ilgili parametreler .....	45
Çizelge 4.1. 1. Arıtma lokasyonundan alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb (µg/L).....	46
Çizelge 4.2. 2. Arıtma tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb (µg/L) .....	47
Çizelge 4.3. 3. Arıtma I tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb (µg/L) .....	47
Çizelge 4.4. 4. Arıtma tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb (µg/L) .....	47
Çizelge 4.5. 5. Arıtma tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb (µg/L) .....	48
Çizelge 4.6. 6. Arıtma tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb (µg/L) .....	48
Çizelge 4.7. Tüm arıtma tesisinden alınan numunelerin Arsenik (As) derişimleri ppb (µg/L).....	48
Çizelge 4.8. Tüm arıtma tesisinden alınan numunelerin Selenyum (Se) derişimleri ppb (µg/L).....	49

## 1. GİRİŞ

Canlıların vazgeçilmez yaşam kaynağını oluşturan suyun temiz, hijyenik ve kullanılabilir özellikte olması yaşamlarını idame ettirmeleri açısından oldukça önemlidir (Akın ve Kahraman, 2018). İnsan, bitki ve hayvanın hayatta kalabilmesi için en temel gereksinimlerden biri de sudur. Bu nedenle suyun kalitesi yalnızca insanlar için değil, aynı zamanda tüm canlılar için hayati önem taşımaktadır (Singh, 2008). Yeryüzündeki toplam su miktarı 1,41 milyar  $\text{km}^3$ 'tür ( $1 \text{ km}^3$ , 1 milyar  $\text{m}^3$ 'e eşittir). Dünyada bulunan bu suyun %98'ni okyanus ve denizlerde bulunan tuzlu sulardan oluşmaktadır. Diğer yaklaşık %2'lik kısmını ise tatlı sulardan oluşurken bunlarında yaklaşık %90'ını kutuplarda ve yeraltında bulunduğundan çok az bir kısmı kullanılabilir durumda olan sukütlesini temsil etmektedir (Anonim, 2014).

Yukarıda belirtilen durumlardan dolayı kullanılan temiz ve tatlı suların (atık su) tekrar geri kazanılarak yeniden kullanılabilir hale getirilmesi büyük önem arz etmektedir. Hastalıkların yaklaşık %90'ının kirli sulardan kaynaklandığı bilimsel olarak tespit edilmiştir. Su kirliliğinin başlıca kaynağını evsel atıklar, endüstriyel atıklar ve akarsulara atılan tarımsal atıklar oluşturmaktadır (Singh, 2008).

Sanayileşme ve kentleşme nedeniyle aşırı ağır metallerin çevreye salınması dünya çapında büyük bir sorun teşkil etmiştir. Çoğunluğu biyolojik bozulmaya duyarlı olan organik kirleticilerin aksine, ağır metal iyonları zararsız son ürünlere dönüşmez (Hegazi, 2013; Gupta ve ark., 2001). Ağır metaller, özgül ağırlığı 5,0'dan büyük olan elementlerdir (Srivastava ve Majumder, 2008). Metal kaplama tesisleri, madencilik işlemleri, gübre endüstrileri, tabakhaneler, piller, kâğıt endüstrileri ve böcek ilaçları gibi sektörlerin hızla gelişmesiyle birlikte, ağır metal ile kirlenen atık sular doğrudan veya dolaylı olarak özellikle gelişmekte olan ülkelerde çevreye deşarj edilmektedir. Ağır metaller organik kirleticilerin aksine biyolojik olarak parçalanmadıklarından, canlı organizmalarda birikmeye meyillidirler. Birçok eser metal iyonunun toksik veya kanserojen olduğu bilinmektedir. Endüstriyel atık sularda özellikle endişe verici toksik ağır metaller sırasıyla; Kurşun (Pb), Bakır (Cu), Çinko (Zn), Kadmiyum (Cd) Cıva (Hg), Nikel (Ni), ve Krom (Cr) şeklindedir (Fu ve Wang, 2011). İz seviyesinde bile, ağır metallere maruz kalmak insanlar için risk oluşturabilir (Jamil ve ark., 2010; Khan ve ark., 2008; Singh ve ark., 2010; Peng ve ark., 2004). Ağır metaller canlı organizmalarda birikme eğilimindedir ve çoğu kanserojen ve teratojeniktir. Organ

hasarı, yüksek tansiyon, azalmış büyüme ve gelişme, konuşma bozuklukları, uyku bozuklukları, yorgunluk, zayıf konsantrasyon, agresif davranış, sinirlilik depresyonu, duygudurum dalgalanmaları, artmış alerjik reaksiyonlar, vasküler tıkanma, otoimmün hastalıklar, oksidatif stres ve hafıza kaybı gibi çeşitli semptomlara neden olabilirler (Li ve ark., 2015; Qu ve ark., 2013). Ayrıca insan hücrel enzimlerini bozabilirler (Ageena, 2010; İnce ve İnce, 2017).

Kullanılabilir suyun sınırlı olması ve özellikle ağır metallerin zararlı etkileri nedeniyle atık suların arıtılıp yeniden kullanılabilir hale getirilmesi büyük önem arz etmektedir. Atık suların iyileştirilmesi birçok bilim insanının ilgisini çekmiş ve bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Atık, arıtılmış ve temiz sulardaki bazı ağır metal seviyelerinin tayin edilmesi son yıllarda nüfus artışı ve dolayısıyla da sanayi üretiminin artması sonucunda çevreye salınan atıksu miktarında bir hayli arttırmıştır. Bu durum insan, çevre ve canlı sağlığının tehdit altında olduğunun en açık bir göstergesidir. Tüm bahsi geçen bu sebeplerden dolayı atık, arıtılmış ve temiz suların içermiş oldukları ağır metal kirlilikleri yada toksik etki düzeyleri daha da bir dikkat çekmiş olup, gündemdeki yerini iyice pekiştirmiştir. Sulardaki ağır metal kirliliğini tespit etmek amacıyla birçok yöntem geliştirilmiş olup bunları bazı avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Madde ışın etkileşim metoduna dayalı Atomik absorpsiyon Spektrofotometresi ile ağır metal yada eser element tayini, kolay, ucuz ve hızlı bir yöntem olarak hala popüleritesini korumaktadır. Ancak bu metot ile tayin yaparken özellikle su numunelerindeki ağır metal derişimlerinin ppb (milyarda bir) düzeyinde olması sebebiyle atomik absorpsiyon cihazının tayin sınırı altında kaldığı ve direk ölçüm yapmanın mümkün olamayacağı bilinmektedir. Bu sorunu aşmak maksadıyla yani ölçümü yapılacak numunelerdeki ağırmetal derişimlerini tayin sınırına çıkarmak için bir eser element zenginleştirme metodunun kullanılması gereği kanatine varılmıştır. Bizde bu çalışmamızda uygulamasının kolay, hızlı ve aynı zamanda verimi yüksek bir yöntem olan katı faz ekstraksiyon (özütleme) yönteminin kolon tekniğini kullanarak zenginleştirme işlemlerimizi tamalayarak numunelerimizi tayin sınırı seviyesinin üzerine çıkardıktan sonra ölçümlerimizi yaparak sonuçlarımızı analitik yöntem validasyon kullanarak değerlendirildi. burada yöntemin geçerliliği test edilerek bazı parametreler bakımından kıyaslamalar yapılarak optimum çalışma ve ölçüm yöntemleri belirlenerek sonuçlarımızın kesinliği test edilmiştir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Suyun Önemi

İnsanların hayatlarını ve iktisadi faaliyetlerini sürdürülebilmesine kaynaklık etme açısından ve aynı zamanda milletlerin devamlılığı için hayati bir öneme haiz olan su son derece kısıtlı bir kaynaktır (Çetinavcı, 2008). Dünyamız yüzeyinin dörtte üçü suyla kaplıdır. Her yıl  $2.10^{22}$  litre kadar su yağmurlarla yeryüzüne düşmektedir. Yeryüzündeki suyun yaklaşık %97'sini oluşturan okyanus ve deniz suyunun ne içme ne de endüstriyel kullanıma uygun olmadığı tespit edilmiştir. Buz olarak kutup bölgelerinde bulunan suyun miktarı ise yaklaşık %2 kadardır. Geriye kalan yaklaşık %1'lik kısım ise içme suyunu oluşturur ( $3.10^{17}$  litre). İçme suyunu oluşturan toplam miktarın miktarın yaklaşık olarak kırk milyar insanın su ihtiyacını karşılayacağı tahmin edilmektedir. Ancak insanların yoğun olarak yaşadığı meskun mahallerde su tüketiminin son yıllarda hızlı bir şekilde arttığı, bazı yerleşim yerlerinde ise suyun olmadığı yada suyun bilinçsizce kirlendiği düşünülürse insanların en temel ihtiyacı olan su kıtlığı yaşanacağı ve en önemlisi tüm canlılar için hayati önem arzeden ciddi bir sorunla karşılaşacağımız kaçınılmaz görünmektedir (Güçer, 2008).

### 2.2. Suların Sınıflandırılması

Sular, sınıflandırılırken kullanım ve kaynaklar olmak üzere iki grup olarak sınıflandırılmaktadır. Kullanım amaçlı sular (içme suları, rekreasyon suları, şifalı sular, sulama suları) ve kaynak amaçlı sular ise (yüzey suları (dere, çay, nehir, göl, baraj vb.), yeraltı suları) olmak üzere iki sınıfta incelenebilir (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

#### 2.2.1. Yüzeysel sular

Ülkemizde deniz sularından içme ve kullanma suyu kaynağı olarak istifade edilmediği için bu sular yüzey suları olarak değerlendirilmemektedir. Bu sebeple içme suyu kaynağı olarak akarsu, göl ve baraj rezervuarlarında biriken sular kullanılmakta ve bu sular yüzey suları olarak tanımlanıp kullanılmaktadır.

Özellikle sanayinin gelişmiş olduğu büyük şehirlerdeki yüzeysel suları (özellikle akar sular) organik ve inorganik kimyasallar tarafından kirlenmektedir. Göl sularındaki bakteri miktarı akarsulara kıyasla daha azdır. Kirli, mikroplu ve askıdaki katı maddeler içermesi nedeniyle çoğunlukla yüzeysel sular bulanık olup kalitesi düşüktür. Kalitelerine göre sular; dört sınıfta değerlendirilir bunlar sırasıyla yüksek kaliteli sular, az kirlenmiş sular, kirli sular ve çok kirlenmiş sular olmak üzere dört ayrı sınıfta değerlendirilmektedir.

**Yüksek kaliteli sular (I. Sınıf):** Dezenfekte edilen içme suları, kaynak suları rekreasyonel amaçlar için kullanılan sular, alabalık üretimi için kullanılan sular ve hayvan üretimi ile çiftlik ihtiyacı için kullanılan sulardır.

**Az kirlenmiş sular (II. Sınıf):** Arıtılmış içme suları, rekreasyonel amaçlar için kullanılan sular, balık üretimi için kullanılan sular, sulama amaçlı olarak kullanılan sular ve I. Sınıf sular dışında kalan diğer kullanımlardaki sulardır.

**Kirlenmiş sular (III. Sınıf):** Gıda ve tekstil gibi kaliteli su gerektiren sanayi tesisleri haricinde uygun bir arıtma sonucu kullanılan endüstriyel sulardır.

**Çok kirlenmiş sular (IV. Sınıf):** Kimyasal, biyolojik ve fiziksel olarak yukarıdaki şartları taşımayan düşük kaliteli suların tamamıdır.

**Çizelge 2.1.** Ülkemiz yüzeysel su kaynaklarının kalite kriterleri (Anonim, 2004)

Kirlilik parametreleri ( $\mu\text{g/L}$ )	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
Arsenik	20	50	100	> 100
Kadmiyum	3	5	10	> 10
Kobalt	10	20	200	> 200
Kurşun	10	20	50	> 50
Nikel	20	50	200	> 200
Selenyum	10	10	20	> 20

### 2.2.2. Yeraltı suları

Kum, çakıl gibi dağınık taş birikintilerinin bulunduğu vadi tabanında veya alüvyonlu bir ovada kuyu açılırsa, bu kuyu içinde su toplanır. Kuyu içinde toplanan bu sular, açılan deliğin veya oyuğun yanlarından buraya doğru olan sızıntılarla birikir. Bu

suyun daha derinlere süzülüp akması, alttaki bir geçirimsiz tabaka tarafından engellenir. Yerin içindeki bu suya yeraltısuyu denir (Botkin ve Keller, 1995).

Ülkemiz kurak ve yarı kurak bir bölge olduğundan yeraltı sularından yararlanma düşüncesi çok eskilere dayanır. Bugün çeşitli yerlerde gördüğümüz yeraltı suyu yapıları, kehrizler (tünel), kuyular bu düşüncüyü desteklemektedir. Türkler yerleşik düzene geçtiklerinde, kuyular ve galeriler açmışlar; sebiller, çeşmeler, sarnıçlar ve bendler inşa etmişlerdir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Kalitelerine göre yeraltısuları üç sınıfta incelenmiştir.

#### **2.2.2.1. Yüksek kaliteli yeraltı suları (I. Sınıf)**

Hem içme suyu hemde gıda üretim endüstrisinde birçok amaç için kullanılabilen yeraltı sularıdır. Bu tür sular gerektiği zaman uygun arıtma ve dezenfeksiyonla daha da kaliteli hale getirilebilirler. Ayrıca bu yüksek kaliteli I. Sınıf olarak kabul edilen yeraltı suları kimi zaman yalnızca havalandırma yöntemiyle oksijen miktarı artırılarak da kullanılabilirler.

#### **2.2.2.2. Orta kaliteli yeraltı suları (II. Sınıf)**

Orta kalite yeraltı sınıfın yer alan bu sular da arıtma işleminden sonra içme suyu olarak kullanılacak durumdaki sulardır. Bu sular çoğu zaman arıtma işlemine gerek duyulmadan, tarımsal amaçlı sulama suyu, hayvan sulama suyu veya sanayide soğutma suyu gibi birden fazla amaç için rahatlıkla kullanılabilir sulardır. Orta kalite yeraltı suları toplam kullanılacak yada az maliyetle kullanılacak suların önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

#### **2.2.2.3. Düşük kaliteli yeraltı suları (III. Sınıf)**

Bu sınıfta yer alan yeraltı suları çeşitli arıtma derceleri ile kullanılacak duruma gelmeleri mümkün olan sulardır. Bu suların arıtılması ekonomik, teknolojik ve sağlık açısından oldukça önemlidir. Bu sınıfta yer alan yeraltı sularında sağlanabilecek arıtma derecesi ile III. Sınıf suların kullanım yeri ve şekli belirlenir. Su üzerine yapılan bilimsel çalışmalar, bakteri bulundurmayan yeraltı sularının önemli bir kısmının

kaynak sularından ve derin yeraltı kuyularından sağlandıklarını ortaya çıkarmıştır. Bu suların süzöldüğü toprağın cinsi, kalınlığı ve süzölen suyun kirlenme derecesi suyun temizlik, derecesini fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kalitesini belirler. Tüm bu olumlu özelliklerinin yanı sıra, yeraltı sularının en büyük dezavantajlarından birisi yapılarında fazla miktarda erimiş mineral bulundurmalarıdır. Çok iyi bir filtre görevi yapması nedeniyle bakteri açısından en güvenli sular, kum ve kumtaşı yapısından süzölen sulardır.

### **2.3. Suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri**

İçme suları, insan ve canlı sağlığı açısından önem arz ettiğı için kullanım alanları da son derece önemlidir. Sular genellikle içmede, yemek yapımında ve de temizlik amaçlı olarak toplumun temel gereksinimlerini karşılamak için kullanılırlar. Bu amaçla kullanılan sular çoğunlukla şehir şebeke suları, kuyu suları, kaynak suları, çeşme suları ve teknik usullerle arıtılmış dere, nehir, göl, baraj suları ile son zamanlara hayatımızın içine giren ve önemli bir yer tutan paketlenmiş hazır sulardır. İçme suları tortusuz, renksiz, kokusuz ve berrak olmalıdır. Küf, yosun, çürük, bataklık, H<sub>2</sub>S (hidrojen sülfür) ve amonyak gibi kokular barındırmamalıdır. Bu sular tüketilirken kimyasal, fiziksel mikrobiyolojik ve ağır metal testleri yapılarak TS 266' ya uygun içilebilir nitelikte olması sağlanmalıdır.

#### **2.3.1. Suyun rengi**

Suyun rengini etkileyen birçok faktör vardır. Bunların en önemlisi, Sudaki mangan, demir ve kobalt gibi suya renk veren metallerin mevcudiyetidir. Bu ve benzeri metalik iyonlar demir ve mangan gibi doğal metalik iyonlar, humus, yabancı otlar, algler ve endüstri atıklarından meydana gelmiş olmaları kuvvetle muhtemeldir. TS 266'da yapılan revizyona göre içme sularının rengi, tavsiye edilen değer (Guide Level, GL) 1 mg/L, izin verilebilecek maksimum değer (Maximum Admissible Concentration, MAC) 20 mg/L olarak verilmektedir.

### 2.3.2. Bulanıklık

Suda bulanıklığa sebep olan birçok unsur vardır bunlar süt, organik maddeler, inorganik maddeler süt, kil, yosun, demir bakterileri ve diğer birçok mikroorganizmalar. Ancaksuda bulanıklığa neden olan kum gibi askıda olan maddeler ise bu durum tehlikeli olmayıp çökelme ve filtrasyonla giderilebilirler. Bulanıklığa neden olan kil gibi kolloidal maddelerin giderilmesi oldukça zordur Sudaki maddeler, kaynağına göre inorganik veya organik olarak sınıflandırılabilirler. Sulardaki organik bileşikler genellikle suyun kokusunu, rengini ve tadını belirlerken inorganik bileşikler suyun bulanıklığına sebep olurlar.  nedenden dolayı bulanıklık önemlidir. Birincisi su ne kadar sıhhatli olursa olsun bulanıklık istenmeyen bir durum olup Őüpheyle bakılır. Bunun sebebi askı halindeki maddeler içinde sağlığa zarar veren mikropların da bulunabilmesidir. İkinci durum filtre edilmesinin zor olması nedeniyle çökelmeleri için kimyasal maddeler gerektirmesidir. Bu durum pahalı olmasına neden olur. nc neden ise dezenfeksiyonu zorlaştırır. Askı halindeki bulanıklık veren maddeler üzerinde canlı organizmalar bulunduğundan klorun veya dezenfektanın etkisini zorlaştırarak daha fazla dezenfektan harcanmasına neden olur.

### 2.3.3. Tat ve koku

Suların tat ve kokusuna neden olan maddeler susa zmşbazı inorganik tuzlardır. Bu tuzlar ( $\text{NaCl}_2$  (sodyum klorür),  $\text{MgCl}_2$  (magnezyum klorür),  $\text{CaSO}_4$  (kalsiyum sülfat)) ve benzeri bileşikler diyatome, klorofise, siyanofise, protozoa, krustaceler, alglar gibi organizmaların suda belli bir miktardan fazla bulunması, sularda özel koku ve tatlara yol açmaktadır. Bu bleşikler suları tat bakımından tuzlu, ekşi, acı; koku bakımından kfms, balıksı, otsu, baharatsı Őekle dönüştürebilir. Suları koku ve tat bakımından iyi bir düzeye çıkarmak ve de sulardaki mikroorganizmaları yok etmek için 0,3-3 mg/L dozunda klorlama ile birlikte  $\text{CuSO}_4$  (bakır (II) sülfat) uygulanır. Klor,  $\text{CuSO}_4$ 'in etki edemediği organizmaları öldürür ve  $\text{CuSO}_4$  uygularken oluşan kokuları yok eder. Bu işlemlerde verilecek klor (Cl) ve  $\text{CuSO}_4$  dozları her organizma için farklıdır.

### 2.3.4. Elektriksel iletkenlik

Elektriksel iletkenlik suyun elektrik akımını iletme kapasitesi yada su çözeltisinin elektrik akımını geçirmeye karşı gösterdiği direnç elektriksel iletkenlik olarak tanımlanmıştır. Elektriksel iletkenlik suda iyonlarına ayrılmış olan pozitif ve negatif yüklü iyonların toplam derişimine ve sıcaklığına bağı olarak değişkenlik gösterebilir. Elektriksel iletkenliğin birimi microohm/cm olup, +25 °C'deki 1 cm<sup>3</sup> suyun iletkenliğini ifade eder. Yeni damıtılmış damıtık suyun iletkenliği 0,5-2 mikroohm/cm iken, zamanla havanın karbondioksitinin absorpsiyonu ile bu değer 2-4 mikroohm/cm'ye yükselir. Sulardaki iyon derişimine bağı olarak iletkenlik arttığı gibi saf suyu yada iyonlardan arınmış suların elektriksel iletkenliği yoktur.

### 2.3.5. Toplam çözünmüş maddeler

Sudaki çözünmüş maddelerin kaynağını anorganik tuzlar ile suda çözünmüş az miktardaki organik maddeler oluşturur. Suda çözünmüş iyonların başlıcaları; karbonat, bikarbonat, sülfat, klorür, sodyum, nitrat, kalsiyum, potasyum ve magnezyumdur. Sudaki çözünmüş maddeler tat, sertlik, korozyon gibi suyun özelliklerini etkiler ve kabuklanmaya neden olurlar. Toplam çözünmüş maddeler; doğal kaynaklar, lağım atıkları, şehir drenaj suları ve endüstriyel sulardan ileri gelmektedir. Çözünmüş maddeler suyun lezzetini etkiler. Çözünmüş madde miktarı fazla olan içme suları yavan ve lezzetsizdir. Su dağıtma sistemlerinde magnezyum, klorür, sülfat, karbonat gibi iyonlar korozyona ve borularda kabuklanmaya neden olurlar.

**Çizelge 2.2.** Toplam çözünmüş katı madde miktarına göre suların sınıflandırılması

Katı Madde Miktarı(mg/L)	Sınıf
0-1000	Tatlı su
1000-10.000	Acı su
10.000-100.000	Tuzlu su
100.000'den fazla	Deniz suyu

### 2.3.6. pH

Sudaki hidrojen iyonu derişiminin negatif logaritması suyun pH değerini ya da sudaki hidrojen gücü suyun pH'ı olarak tanımlanır.  $pH=7$  olduğunda su nötr özellik gösterir. Yani sudaki  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonlarının konsantrasyonları eşit olur. Genellikle yeraltı sularının pH'ı 7'den küçük olup asit özellik gösterir. Yüzeysel suların pH'ı ise genellikle 8'den büyüktür ve bazik özellik gösterir. İçme sularının uygun pH değeri 6.5-8.5 arasındadır.

Yeraltı sularının pH değeri, içerisinde çözünmüş olan karbondioksit, dikarbonat ve bikarbonat iyonları arasındaki dengeye bağlı olarak değişmektedir. Bu dengeyi etkileyen en önemli parametreler, sıcaklık ve basınç değerleri olarak bilinmektedir.

### 2.4. Dünya'da Su

Dünya nüfusunun sürekli olarak artış göstermesi, endüstriyel, teknolojik, ekonomik ve tarımsal gelişmenin ivme kazanması insanların temiz suya olan ihtiyacını daha da arttırmıştır. Hızlı artışıyla birlikte sanayi ve zirai faaliyetlerdeki gelişim hem içme hem de kullanma suya olan ihtiyacın sürekli artmasına neden olmaktadır. Buna karşılık Dünya'daki tatlı su potansiyelinin sabit olması, su kıtlığının yaşanmasına neden olmaktadır. Dünya nüfusu 19. yüzyıla oranla 20. yüzyılda 3 kat artmasına rağmen, su kaynaklarının kullanımı ise 6 kat artmıştır. Bugün Dünyada, kişi başı su tüketimi ortalama yılda  $800 m^3$  (metreküp) civarındadır ve bu rakam dünya nüfusunun artmasıyla birlikte azalacaktır. Birleşmiş Milletler tarafından yapılan bir araştırmaya göre, 2025 yılında yaklaşık 3 milyar insan su problemiyle karşı karşıya kalacaktır (Şen ve Canpolat, 2008).

Jeolojik konumları ve iklim koşulları nedeniyle su sıkıntısı çeken ülkeler, yeterli miktarda temiz ve sağlıklı suya erişememektedirler. Kayıtlara göre dünyada 29 ülkede yaşayan 436 milyon insanın yeterli suya erişimi bulunmamaktadır (Tanık ve ark., 2015).

Dünyanın birçok bölgesi, Güney Avrupa, Orta Doğu, ABD'nin güney eyaletleri, Kuzey Afrika, ve Avustralya su kıtlığı sorunuyla karşı karşıyadır. Su kıtlığı, Avrupa Birliği (AB) topraklarının % 17'sini ve Avrupa nüfusunun en az % 11'ini etkileyen endişe veren bir hal almaktadır (Demir ve ark., 2017; Pintilie ve ark., 2016).

Bir bölgedeki kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarının 1000 m<sup>3</sup>'ün altına düştüğü durum su kıtlığı (su fakiri) olarak tanımlanır. Bir ülkede yıllık kişi başına düşen su miktarı 2000 m<sup>3</sup> ise su problemi (su azlığı) yaşayan ülke, yıllık kişi başına düşen su miktarı 10000 m<sup>3</sup> ise su zengini ülke olarak bilinir (Şen ve Canpolat, 2008; Anonim, 2008a).

Çizelge 2.3. Dünyadaki toplam su miktarlarının yüzdesi (Başkan, 2006)

	km <sup>3</sup>	%
<b>Dünyadaki Toplam Su Miktarı</b>	1.4 Milyar	100
<b>Denizler ve Okyanuslardaki Tuzlu Su Miktarı</b>	1.365 Milyar	97,5
<b>Tatlı Su Miktarı</b>	0,035 Milyar	2,5
<b>Yılda Buharlaşan Su Miktarı</b>	500.000	0,036
<b>Yılda Yağışla Düşen Su Miktar</b>	100.000	0,007
<b>Nehirlerle Akışa Geçen Miktar</b>	40.000	0,003
<b>Teknik ve Ekonomik Kullanılabilir Su Miktarı</b>	9.000	0,00064

Çizelge 2.4. Su kaynaklarının yeryüzünde dağılımı (Özbay ve Kavaklı, 2008)

Kıtalar	Nüfus (%)	Su kaynağı (%)
<b>Kuzey Amerika</b>	8	15
<b>Güney Amerika</b>	6	26
<b>Avrupa</b>	13	8
<b>Afrika</b>	13	11
<b>Asya</b>	60	36
<b>Avustralya ve Adalar</b>	1	5

## 2.5. Türkiye'de Su

Ülkemizin dört bir yanı denizlerle çevrilmiş olmasına rağmen kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1640 m<sup>3</sup> civarında olduğundan su kıtlığı yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Ortalama kişi başına düşen yıllık su miktarı Asya'da 3000 m<sup>3</sup>, Avrupa'da 5000 m<sup>3</sup> ve Kuzey Amerika'da ise 23000 m<sup>3</sup>'tür. Buradan açıkça görüldüğü gibi ülkemizin su miktarı oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre ülkemiz nüfusunun 2030 yılında 100 milyon civarında olacağı öngörülmektedir. Bu durumda ülkemizde fert başına düşen kullanılabilir temiz

su miktarı 1000-1100 m<sup>3</sup> olacağından ülkemiz, su sıkıntısı çeken bir ülke durumuna gelecektir (Şen ve Canpolat, 2008; Anonim, 2008b).

### 2.5.1. Türkiye'deki su potansiyeli

Türkiye'de ortalama yıllık yağış miktarı yaklaşık 643 mm'dir ve bu yılda ortalama 501 milyar m<sup>3</sup> suya denktir. Yağış olarak Türkiye yüzeyine düşen bu suyun 274 milyar m<sup>3</sup>'ü toprak, su yüzeyleri ve bitkilerden buharlaşarak tekrar atmosfere geri dönmektedir. 69 milyar m<sup>3</sup>'ü ise yeraltı suyunu beslemektedir. Geriye kalan 158 milyar m<sup>3</sup>'lük kısmı ise akışa geçerek, akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m<sup>3</sup>'lük suyun 28 milyar m<sup>3</sup>'ü pınarlar vasıtasıyla tekrardan yerüstü suyuna katılmaktadır. Ayrıca yılda ortalama 7 milyar m<sup>3</sup> su komşu ülkelerden ülkemize gelmektedir. Sonuçta ülkemizin brüt olarak yerüstü su potansiyeli 193 milyar m<sup>3</sup> olmaktadır.

Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m<sup>3</sup> suyu da hesaba katarsak, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m<sup>3</sup> olmaktadır. Ancak günümüz teknik ve ekonomik şartları nedeniyle, çeşitli amaçlarla tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m<sup>3</sup>, komşu ülkelerden gelen akarsulardan 3 milyar m<sup>3</sup> olmak üzere, yılda ortalama toplam 98 milyar m<sup>3</sup>'tür. Yeraltı su potansiyeli 14 milyar m<sup>3</sup> olarak belirlenen ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli toplam yılda ortalama 112 milyar m<sup>3</sup> olup, sadece 44 milyar m<sup>3</sup>'ü kullanılmaktadır (Anonim, 2014).

**Çizelge 2.5.** Türkiye'deki su kaynakları ve potansiyeli

Su Kaynakları	Potansiyeli
Yıllık yağış miktarı	501 milyar m <sup>3</sup>
Buharlaşma	274 milyar m <sup>3</sup>
Yer altına sızma yüzey suyu	41 milyar m <sup>3</sup>
Yıllık yüzey akış	186 milyar m <sup>3</sup>
Kullanılabilir yüzey suyu	98 milyar m <sup>3</sup>
Yer altı suyu yıllık çekilebilir su miktarı	14 milyar m <sup>3</sup>
<b>Toplam kullanılabilir su (net)</b>	<b>112 milyar m<sup>3</sup></b>

Çizelge 2.6. Türkiye’de çeşitli amaçlarla kullanılan su miktarları

<b>DSİ sulamalarında kullanılan</b>	<b>32 milyar m<sup>3</sup></b>
<b>İçme suyunda kullanılan</b>	7 milyar m <sup>3</sup>
<b>Sanayide kullanılan</b>	5 milyar m <sup>3</sup>
<b>Toplam kullanılan su</b>	44 milyar m <sup>3</sup>

## 2.6. Atık Sular

Atık sular ağırlıklı olarak sanayi üretimi sonucu oluşan atıklar olmak üzere, evsel atıklar yada farklı kullanımlar sonucu özelliklerini tamamen yada kısmen yitirmiş, kirlenmiş hatta tamamen değişmiş sular olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2017). Atık suların, en önemli kısmını endüstriyel evsel, tarım kökenli atıklar olmakla birlikte, farklı kullanımlar neticesinde kirlenmiş, olup özellikleri kısmen yada tamamen kaybetmiş olan sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden elde edilen atık sular, yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız şehir bölgelerinden cadde, sokak, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzeyaltı akışa dönüşmesi sonucunda meydana gelen su kütleleri atık suları oluşturmaktadır. Atık sular atıkların kaynağına bağlı olarak az yada çok kirlenmiş olarak sınıflandırılabilirler. Herhangi bir ticari veya endüstriyel faaliyetin yürütüldüğü alanlardan, evsel atıksu ve yağmur suyu dışında oluşan atıksular, endüstriyel atıksuları; yaygın olarak yerleşim bölgelerinden ve çoğunlukla evsel faaliyetler ile insanların günlük yaşam faaliyetlerinin yer aldığı okul, hastane, otel gibi hizmet sektörlerinden kaynaklanan atıksuları evsel atıksular oluşturur (Anonim, 2014). Atık sularda fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik kirlilik olduğu gibi, ağır metal kirliliği her zaman ön planda yer almaktadır. Ağır metal iyonlarının varlığı, yada derişiminin yüksek olması toksisite bakımından birçok canlıyı tehdit edip endişelere sevketmektedir. Ağır metal kirliliği, metal kaplama, madencilik işlemleri, tabakhaneler, kloralkaliler, radyatör üretimi, eritme ve alaşım endüstrileri gibi birçok endüstrinin sulu atıklarında bulunmaktadır (Hegazi, 2013; Kadirvelu, 2001).

### 2.6.1. Endüstriyel atık sularda ağır metaller ve toksisite

Ağır metaller, büyüme ve gelişme, kanser, organ hasarı, sinir sistemi hasarı ve aşırı durumlarda ölüm gibi ciddi sağlık etkilerine neden olur. Arsenik, aslında yarı metal

olmasına rağmen, genellikle tehlikeli bir ağır metal olarak kabul edilir. Civa ve kurşun gibi bazı metallere maruz kalmak aynı zamanda bir kişinin bağışıklık sisteminin kendi hücrelerine saldırdığı otoimmünitenin gelişmesine neden olabilir. Bu, romatoid artrit ve böbrek hastalıkları, dolaşım sistemi, sinir sistemi ve fetal beynin zarar görmesi gibi eklem hastalıklarına yol açabilir. Daha yüksek dozlarda, ağır metaller geri dönüşü olmayan beyin hasarına neden olabilir. Çocuklar, vücut ağırlıkları için yetişkinlerden daha fazla yiyecek tükettikleri için yiyeceklerden yetişkinlerden daha yüksek miktarda metal alabilirler. İnsan ve çevrenin tehlikeli kimyasallara maruz kalmasını en aza indirmek için atık su yönetmelikleri kurulmuştur. Bu, tahliye edilen atık suda bulunabilecek ağır metallerin tipleri ve konsantrasyonundaki limitleri içerir (Barakat, 2011). USEPA tarafından ağır metaller için belirlenen MCL standartları, Çizelge 2'de özetlenmiştir (Babel ve Kurniawan, 2003).

**Çizelge 2.7.** En tehlikeli ağır metaller için MCL standartları

Ağır metal	Toksisiteleri	MCL (mg / L)
<b>Arsenik</b>	Deri belirtileri, visseral kanserler, vasküler hastalık	0.050
<b>Kadmiyum</b>	Böbrek hasarı, böbrek hastalığı, insan kanserojen	0.01
<b>Krom</b>	Baş Ağrısı, ishal, bulantı, kusma, kanserojen	0.05
<b>Bakır</b>	Karaciğer hasarı, Wilson hastalığı, uykusuzluk	0.25
<b>Nikel</b>	Dermatit, bulantı, kronik astım, öksürük, insan kanserojen	0.20
<b>Çinko</b>	Depresyon, uyuşukluk, nörolojik bulgular ve susuzluk	0,80
<b>Kurşun</b>	Fetal beyinde hasar, böbrek, dolaşım sistemi ve sinir sistemi hastalıkları	0.006
<b>Civa</b>	Romatoid artrit ve böbrek, dolaşım sistemi ve sinir sistemi hastalıkları	0.00003

## 2.7. Atık Suların Arıtılması

Başta sanayi kuruluşları, konutlar, maden ocağı tesisleri, organize sanayi bölgeleri, kentsel bölgeler, cevher yıkama ve zenginleştirme tesisleri olmak üzere çeşitli atölye ve tamirhaneler, tarımsal alanlar, hastaneler, okullar ve benzeri devlet ve özel kurum ve kuruluşlar atık suların en önemli kaynaklarını oluşturmaktadırlar. Suların çeşitli faaliyet alanlarında kullanılması sonucu atıksu haline dönüşerek kaybetmiş oldukları fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik hususiyetlerinin bir kısmını veya tamamını yeniden kazandırabilmek veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal,

bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerine atıksu arıtımı denir (Anonim, 2004).

Ağır metal kirliliği günümüzde en ciddi çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Ağır metallerin arıtılması, çevrede yeniden değerlendirme ve kalıcılığından dolayı özel bir öneme sahiptir. Son yıllarda, atıksudan ağır metal uzaklaştırılması için çeşitli yöntemler kapsamlı olarak incelenmiştir. Bu yöntemler arasında kimyasal çökeltme, iyon değişimi, adsorpsiyon, membran filtrasyonu, pıhtılaşma, flotasyon ve elektrokimyasal yöntemler bulunur. Ağır metal atık suyunun arıtılmasında en sık çalışılan yöntemler iyon değişimi, adsorpsiyon ve membran filtrasyonudur (Fu ve Wang, 2011).

### **2.7.1. Kimyasal çökeltme**

Kimyasal çökeltme şu ana kadar sanayide yaygın olarak kullanılan etkili bir yöntemdir (Ku ve Jung, 2001). Çünkü kullanımı nispeten basit ve ucuzdur. Kimyasallar çözünmez çökeltiler oluşturmak için ağır metal iyonlarıyla reaksiyona sokulur. Oluşan çökeltiler, çökeltme veya süzme yoluyla sudan ayrılabilir. Arıtılan su daha sonra uygun şekilde yeniden kullanılır. Geleneksel kimyasal çökeltme işlemleri arasında hidroksit çökeltmesi ve sülfid çökeltmesi bulunur (Fu ve Wang, 2011).

#### **2.7.1.1. Hidroksit çökeltme**

En yaygın kullanılan kimyasal çökeltme tekniği, basitliği, düşük maliyeti ve pH kontrol kolaylığı nedeniyle hidroksit çökeltisidir (Huisman ve ark., 2006). Çeşitli metal hidroksitlerin çözünürlükleri, 8.0-11.0 pH aralığında en aza indirgenir. Metal hidroksit, topaklanma ve çökeltme ile giderilebilir. Hidroksit çöktürme işleminde, alum (şap), demir tuzları ve organik polimerler gibi pıhtılaştırıcıların eklenmesi, ağır metallerin atık sudan uzaklaştırılmasını artırabilir (Charerntanyarak, 1999)

Yaygın olarak kullanılmasına rağmen, hidroksit çöktürmenin de bazı sınırlamaları vardır. İlk olarak, hidroksit çökeltmesi, susuzlaştırma ve bertaraf problemlerini ortaya çıkarabilen büyük miktarda nispeten düşük yoğunluklu çamur oluşturur (Kongsricharoern ve Polprasert, 1995). İkincisi, bazı metal hidroksitleri

amfoteriktir ve karışık metalleri çöktürmede problem yaratır. pH bir metal için ideal olurken, başka bir metalin tekrar çözünmesine neden olabilir. Üçüncüsü, kompleks yapıcılar atık sudaiken, metal hidroksit çökmesini önlerler (Fu ve Wang, 2011).

### **2.7.1.2. Sülfid çökeltme**

Sülfid çökeltmesi toksik ağır metal iyonlarının giderilmesi için etkili bir işlemdir. Sülfid kullanımının birincil avantajlarından biri, metal sülfid çökeltmelerinin çözünürlüğünün, hidroksit çökeltmelerinden önemli ölçüde daha düşük olmasıdır ve sülfid çökeltmeleri amfoterik değildir. Dolayısıyla, sülfür çökeltme işlemi, hidroksit çökeltisine kıyasla geniş bir pH aralığında yüksek derecede metal tahliyesi sağlayabilir. Metal sülfid çamurları ayrıca karşılık gelen metal hidroksit çamurlarından daha iyi kalınlaşma ve susuzlaştırma özellikleri sergiler.

Bununla birlikte, sülfid çökeltme işleminde potansiyel tehlikeler vardır. Bildiğimiz gibi, genellikle asit şartlarında ağır metal iyonları ve asidik şartlarda sülfid çökeltmeleri toksik H<sub>2</sub>S dumanının oluşmasına neden olabilir. Bu çökeltme işleminin nötr veya bazik bir ortamda gerçekleştirilmesi çok önemlidir. Dahası, metal sülfid çökeltme, çökeltme veya filtrasyon işlemlerinde bazı ayırma problemlerine neden olan kolloidal çökeltmeler oluşturma eğilimindedir (Fu ve Wang, 2011).

### **2.7.2. İyon değişimi**

İyon değişimi, endüstrideki ağır metallerin atık sulardan uzaklaştırılmasında başarıyla kullanılan bir başka yöntemdir. Bir iyon değiştirici, katyonları veya anyonları çevreleyen malzemelerden değiştirebilen bir katıdır. İyon değişimi için yaygın olarak kullanılan matrisler, sentetik organik iyon değişim reçineleridir. Bu yöntemin dezavantajı, matris atık sudaki organikler ve diğer katılar tarafından kolayca kirletildiği için konsantre metal çözeltisini işlememesidir. Dahası, iyon değişimi seçici değildir ve çözeltinin pH'ına oldukça duyarlıdır (Barakat, 2011).

### 2.7.3. Adsorpsiyon

Geleneksel teknolojik yöntemlerin kullanılmasıyla, atık sudan ağır metal uzaklaştırması veya giderilmesi, su kalitesinin iyileştirilmesi, kullanılan malzemelerin yenilenemez olması, maliyet açısından önemli riskler taşımaktadır. Bu teknolojilerden biri olan adsorpsiyon süreçleri bu amaçla birçok araştırmacı tarafından yaygın bir şekilde yürütülmektedir ve adsorban olarak sıklıkla çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Kararlılık, yararlılık, düşük maliyet, kullanım kolaylığı ve performans gibi önemli avantajlardan dolayı adsorpsiyonun arıtma için etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Adsorpsiyon teknolojisi, ağır metal iyonu konsantrasyonlarını çok düşük seviyelere düşürdüğünden ve biyoadsorbanlar, killer, aktif karbonlar, zeolitler, metal oksitler gibi düşük maliyetli adsorban materyallerin kullanılması nedeniyle büyük avantajlara sahiptir. Aynı zamanda, adsorpsiyon tekniğinde kullanılan adsorbanların, bazı uygulanan işlemlerden sonra tekrar tekrar kullanılabilmesi de önemlidir. (Pan ve ark., 2009; Zhao ve ark., 2011). Bu avantajları nedeniyle su ve atık sudan ağır metallerin uzaklaştırılması diğer tekniklere göre adsorpsiyon tekniğini ön plana çıkarmaktadır (İnce ve İnce, 2017; Hua ve ark., 2012).

### 2.7.4. Membran filtrasyonu

Membran filtrasyonu, yalnızca askıya alınmış katı ve organik bileşikleri değil aynı zamanda ağır metaller gibi inorganik kirletici maddeleri de kaldırabildiğinden, inorganik atık suların arıtılmasında büyük öneme sahiptir. Tutulabilecek partikülün boyutuna bağlı olarak, atık suyun ağır metal uzaklaştırılması için ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters ozmoz gibi çeşitli membran filtrasyon tipleri kullanılabilir (Barakat, 2011).

#### 2.7.4.1. Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon (UF), çözülmüş ve kolloidal malzemenin uzaklaştırılması için düşük transmembran basınçlarında çalışan bir membran tekniğidir. UF membranlarının gözenek ebatları, hidratlanmış iyonlar formundaki çözülmüş metal iyonlarından daha

büyük veya düşük moleküler ağırlıklı kompleksler olduğundan, bu iyonlar kolayca UF zarlarından geçer (Fu ve Wang, 2011).

#### **2.7.4.2. Ters osmoz**

Ters osmoz (RO) işleminde, kirletici maddeleri engelleyen ama saflaştırılan suyun içinden geçmesine izin veren yarı geçirgen bir membran kullanır. RO, birçok çözünmüş türü sudan çıkarabilen tekniklerden biridir. Dünyanın tuzdan arındırma kapasitesinin % 20'sinden fazlasını oluşturur (Shahalam ve ark. 2002). RO, kimya ve çevre mühendisliğinde giderek daha popüler bir atık su arıtma seçeneği olmaya başlamıştır (Fu ve Wang, 2011).

#### **2.7.4.3. Nanofiltrasyon**

Nanofiltrasyon (NF), UF ile RO arasındaki ara işlemdir. NF, atık sulardan nikel (Murthy ve Chaudhari, 2008), krom (Muthukrishnan ve Guha, 2008), bakır (Cséfalvay ve ark., 2009; Ahmad ve Ooi, 2010) ve arsenik (Nguyen ve ark., 2009; Figoli ve ark., 2010) gibi ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması için umut verici bir teknolojidir (Fu ve Wang, 2011).

#### **2.7.5. Pıhtılaşma**

Pıhtılaşma, kolloidlerin onları ayrı tutan kuvvetleri nötralize ederek kararsızlaştırılmasıdır. Birçok pıhtılaştırıcı, alüminyum, demir sülfat ve demir klorür gibi geleneksel atık su arıtma işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Atık su partiküllerinin ve safsızlıklarının, partiküllerin nötrleştirilmesi ve oluşturulan amorf metal hidroksit çökeltileri üzerindeki safsızlıkların karışması ile etkili bir şekilde uzaklaştırılmasıyla sonuçlanır (Fu ve Wang, 2011).

El Samrani ve ark.(2008), birleştirilmiş kanalizasyon taşmalarından ağır metalleri iki ticari pıhtılaştırıcı olan ferrik klorür çözeltisi ve polialüminyum klorür (PAC) ile pıhtılaşma yöntemiyle uzaklaştırılmasını araştırmışlardır (Fu ve Wang, 2011).

Pıhtılaşma, atık su arıtımı için en önemli yöntemlerden biridir, ancak pıhtılaşmanın temel amaçları yalnızca hidrofobik kolloidler ve asılı partiküllerdir. Hem

çözünür ağır metalin hem de çözünmeyen maddelerin pıhtılaşma yoluyla verimli bir şekilde uzaklaştırılması için, sodyum ksantojenat grubu polietilenimin içine aşılantıdır (Fu ve Wang, 2011; Chang ve Wang, 2007).

#### **2.7.6. Flotasyon (yüzdürme)**

Flotasyon günümüzde atık su arıtımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Flotasyon, sıvı kabarcıklarda bulunan ağır metalleri sıvı fazdan ayırmak için kullanılan etkili bir yöntemdir. Çözünmüş hava yüzdürme (DAF), iyon yüzdürme ve yağış yüzdürme, metal iyonlarının ayrılması için ana yüzdürme işlemleridir (Fu ve Wang, 2011).

DAF, havadaki mikro kabarcıkların suda asılı parçacıklara yapışmasına izin verir. Bu sayede sudan daha düşük yoğunluğa sahip topaklanmış maddeler su yüzeyine çamur olarak yükseltilerek ayrıştırılır. (Lundh ve ark., 2000). DAF, 1990'larda ağır metalleri uzaklaştırmak için geniş çapta çalışılmış yöntemlerden biridir (Waters, 1990; Tassel ve ark., 1997; Tessele ve ark., 1998).

İyon flotasyonunun, ağır metal iyonlarının atık sulardan çıkarılması için umut verici bir yöntem olduğu gösterilmiştir. İyon yüzdürme işlemi, atıksulara hidrofobik olan iyonik metal türlerinin yüzey aktif maddeler kullanılarak verilmesi ve daha sonra bu hidrofobik türlerin hava kabarcıkları ile uzaklaştırılması esasına dayanır (Polat ve Erdoğan, 2007).

#### **2.7.7. Elektrokimyasal yöntem**

Elektrokimyasal yöntemler, metal iyonlarının bir katod yüzeyinde kaplanmasını içerir ve metaller elementel olarak geri kazanılabilir. Elektrokimyasal atık su teknolojileri nispeten büyük sermaye yatırımlarını ve pahalı elektrik kaynaklarını içerir, bu nedenle yaygın olarak kullanılmamıştır. Bununla birlikte, atık su deşarjına ilişkin katı çevresel düzenlemelerle, elektrokimyasal teknolojiler son yirmi yılda dünya çapında önemini yeniden kazanmıştır (Wang ve ark., 2007b).

## 2.8. Ağır Metaller

Yoğunlukları 6 g/ml'den büyük olan ve 63,5 ile 200,6 arasında atomik ağırlığa sahip elementler ağır metaller olarak tanımlanır. Kaya ve mineral içinde bulunan ağır metaller, çok çeşitli yollarla topraklara, sedimentlere ve sulara dağılırlar. Bu gibi yerlerdeki konsantrasyonları çok düşüktür. Bu konsantrasyonlarına, taban veya doğal konsantrasyonlar denir. Eğer metaller taban konsantrasyonlarının üstünde olurlarsa, canlılara zarar vermeye başlar (Gündüz, 2008).

Esas eser elementler (Fe (demir), Mn (mangan), Cu (bakır), Zn (çinko), Cr (krom), Co (kobalt) ve Mo (molibden) gibi ağır metaller) mikroorganizmaların sağlıklı yaşam sürdürmeleri için gereklidir. Eser oranlarda organizmaya yararlı olurken, fazlası zararlıdır ve zehirlenmeye neden olur. Bunların konsantrasyonları eser oranların altına düştüğü zaman organizmada hastalıklar başlar. Hastalık başladığı andaki konsantrasyonlarına bunların eksikliği konsantrasyonu denir (Gündüz, 2008).

Canlı organizmalar, kobalt, bakır, demir, mangan, molibden, vanadyum, stronsiyum ve çinko gibi bazı ağır metallerin eser miktarlarını gerektirir. Bununla birlikte, aşırı metal esans seviyeleri organizma için zararlı olabilir. Yerkabuğunda nispeten bol olan ve endüstriyel işlemlerde veya tarımda sıklıkla kullanılan ağır metaller insanlar için toksiktir. Bunlar, canlıların biyokimyasal döngülerinde önemli değişiklikler yapabilir (Srivastava ve Majumder, 2008). Bakır, kobalt gibi ağır metallerin bazıları insan yaşamı için gerekli iken, kurşun, kadmiyum gibi ağır metallerin bazıları insan için problemdir. (Tüzen ve ark., 2007).

Ağır metaller, hem doğal hem de antropojenik faaliyetlerin bir sonucu olarak, çevrede her yerde bulunur ve insanlar çeşitli yollardan onlara maruz kalırlar (Khan ve ark., 2008; Wilson ve Pyatt, 2007). Ağır metal kirletici madde kaynaklarının çoğu madencilik, metal işleme, tabakhaneler, ilaç, böcek ilaçları, organik kimyasallar, kauçuk, plastik, kereste ve odun ürünleri ve benzeri endüstriyel atık sulardır (Mohammedi ve ark., 2005). Ağır metaller akıntı suyuyla taşınır ve sanayi bölgesinden aşağı akan su kaynaklarını kirletir. Mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar dahil tüm canlılar yaşam için suya dayanır. Ağır metaller mikroorganizmaların yüzeyine bağlanabilir ve hatta hücre içine nüfuz edebilir. Mikroorganizmanın içinde ağır metaller kimyasal olarak değiştirilebilir çünkü mikroorganizma gıdaları sindirmek için kimyasal reaksiyonlar kullanır (Srivastava ve Majumder, 2008).

Ağır metallerin çoğu iyi bilinen toksik ve kanserojen maddelerdir ve atık sulara deşarj edildiklerinde insan popülasyonu ve alıcı su kütlelerinin faunası ve florası için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Srivastava ve Majumder, 2008). İnsanlar kirlenmiş suların ve yiyeceklerin alınmasıyla ve metal içeren tozların solunmasıyla toksik olan As ve diğer metallere çok farklı şekilde maruz kalırlar (Alam ve ark., 2002).

### 2.8.1. Bazı önemli ağır metaller

Çizelge 2.8. Önemli ağır metallerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Ağır metaller	Atom numarası	Atom kütlesi (g/mol)	Erime noktası (°C)	Kaynama noktası (°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Yükseltgen me basamağı
Arsenik	33	74.92	Süblimleşme	Süblimleşme	2.03 ve 5.78	-3, +3, +5
Kadmiyum	48	112.411	321	767	8.64	+2
Kobalt	27	58.93	1495	2870	8.9	+2, +3
Kurşun	82	207.21	327.4	1750	11.34	+2, +4
Nikel	28	58.7	1453	2737	8.9	+2, +3
Selenyum	34	78.96	220	684,8	4.81	-2, +4, +6

#### 2.8.1.1. Arsenik

Arsenik, çevrede her yerde bulunan doğal olarak oluşan bir metaloiddir (Saint-Jacques ve ark., 2014). Çevreye çeşitli doğal ve antropojenik kaynaklardan girerek içme suyunu çözünmüş halde kirlenmektedir (Smedley ve Kinniburgh, 2002). İçme suyunda arsenik kirliliği, insanlık için en önemli endişe kaynağı olmuştur. Arsenik alımı, akciğerlerde, karaciğerde, ciltte, mesanede ve böbreklerde kanser riskini artırabilir (Koutros ve ark. 2018). Arsenik kaynağı hem doğal hem de antropojeniktir. Volkanik püskürmeler ve kayaların ayrışması önemli bir doğal arsenik kaynağıdır. Antropojenik kaynaklar ise arsenik bulunan endüstrilerdeki arsenik uygulamalarını içerir. Arsenik ayrıca herbisitlerde, mantar ilaçlarında, böcek ilaçlarında, boyalarda ve kozmetiklerde bulunur. Ayrıca çürüyen odunların korunmasında böcek ilacı olarak kullanılabilir (Khoei ve ark. 2019). Arsenik antikanser ilacı olarak; beyaz kan hücresi kanserini tedavi etmek için kullanılır (Sodhi ve ark., 2019).

### **2.8.1.2. Kadmiyum**

Kadmiyum ABD (Amerika Birleşik Devletleri) Çevre Koruma Ajansı tarafından olası bir insan kanserojen olarak sınıflandırılmıştır. Kadmiyum insan sağlığını ciddi risklere maruz bırakır. Kadmiyuma kronik maruz kalma böbrek fonksiyon bozukluğu ile sonuçlanır ve yüksek düzeyde maruz kalma ölümle sonuçlanır (Fu ve Wang, 2011). Cd (II) güçlü bir nörotoksik metaldir ve insanlarda böbrek hasarı, böbrek fonksiyon bozukluğu, kemik dejenerasyonu, akciğer yetmezliği, karaciğer hasarı ve hipertansiyona neden olduğu bilinmektedir (Bora ve Dutta, 2019; Pandey ve ark., 2008).

### **2.8.1.3. Kobalt**

Kobalt (Co), kobalaminin (B<sub>12</sub> vitamini) temel bir bileşeni olmasına rağmen; Co'nun aşırı alımı, insan sağlığı üzerinde toksik, kanserojen ve mutajenik etkilere neden olur (Bora ve Dutta, 2019; Zamani ve ark., 2012).

### **2.8.1.4. Kurşun**

Kurşun merkezi sinir sistemi hasarına neden olabilir. Kurşun böbrek, karaciğer ve üreme sistemine, temel hücresel süreçlere ve beyin fonksiyonlarına da zarar verebilir. Toksik belirtiler anemi, uykusuzluk, baş ağrısı, baş dönmesi, sinirlilik, kasların zayıflığı, halüsinasyon ve böbrek hasarlarıdır (Fu ve Wang, 2011; Naseem ve Tahir, 2001). Kurşuna şiddetli maruz kalma kısırlık, düşük, ölü doğum ve yenidoğan ölümleriyle ilişkilendirilmiştir (Bora ve Dutta, 2019; Das ve ark., 2008).

### **2.8.1.5. Nikel**

Kritik seviyesini aşan nikel, gastrointestinal distres, pulmoner fibroz ve cilt dermatiti dışında ciddi akciğer ve böbrek problemlerine neden olabilir (Borba ve ark. 2006) Nikelin insan için kanserojen olduğu bilinmektedir (Fu ve Wang, 2011).

### 2.8.1.6. Selenyum

Selenyum, besleyici olarak gerekli bir iz metaloiddir. İnsanlara selenyumun ana kaynağı tahıl, et ve deniz ürünleri gibi diyetlerdir (Ullah ve ark., 2018). Selenometiyonin ve selenosistein gibi selenyumun organik formları sırasıyla tahıllarda ve hayvansal gıdalarda yaygın olarak bulunurken, selenit ve selenat gibi inorganik selenyum, su ve diyet takviyelerinde bulunur (Hu ve ark., 2019). Selenyum, nörogelişim, tiroid hormonlarının sentezi, üreme ve hücrel redoks durumu ile bağlantılı çeşitli biyolojik sistemlerde çok önemli rol oynayan birkaç selenoproteinlere birlikte çevrilerek entegre edilmiştir (Adedara ve ark., 2019; Fernandes ve ark., 2018; Mehdi ve ark., 2013).

Selenyum (Se), temel olarak hayvan ve insan sağlığı için önemli olan önemli bir eser mineraldir (Hosnedlova ve ark., 2018). Sağlıklı bir yetişkinin günlük selenyum miktarı Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından 25-35 µg olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, aşırı Se alımı, gastrointestinal bozukluklar gibi kanserojen ve teratojenik etkileri ve aşırı durumlarda karaciğer sirozu ve pulmoner ödeme neden olabilir (Sandip ve ark., 2019; Vinceti ve ark. 2018).

## 2.9. Ağır Metal Analizlerinde Kullanılan Zenginleştirme Metodları

Eser elementler canlı sağlığı ve çevre için özel bir öneme sahiptir. Bu da eser element analizlerine olan ilgiyi artırmakta ve her geçen gün yeni eser element analiz teknikleri bulunup geliştirilmektedir. Ancak tüm bu metodların kendine has belirli özellikleri, avantajları ve dezavantajları vardır. Analiz edilecek numunelerin analize hazırlanması ve duyarlılığı her bir metot için farklılık göstermektedir (Alfassi ve ark., 1990). Literatöre baktığımızda; buharlaştırma, sıvı-sıvı ekstraksiyonu, adsorbsiyon, ortak çöktürme, reçine kolonundan geçirme ve katı faz ekstraksiyonu sıkça kullanılan metodların başında gelmektedir (Dağ, 2010).

### 2.9.1. Buharlaştırma

İnorganik eser analizlerinde yaygın olarak kullanılmayan bu metot, kendiliğinden uçucu olan veya kolaylıkla uçucu bileşiklerine dönüştürülebilen elementler için son

derece uygundur. Bu metodun uygulanabilmesi için eser element ile matriks arasında uçuculuk farkının büyük olması gerekmektedir (Özdeş, 2012).

### 2.9.2. Sıvı-sıvı ekstraksiyon

Sıvı-sıvı ekstraksiyon basitliği ve düşük maliyeti nedeniyle metallerin ayrılması ve zenginleştirilmesinde kullanılan en popüler yöntemlerden biridir. Matris etkilerinin azaltılması, yüksek hassasiyet ve otomasyon olasılığı diğer önemli avantajlarından. Bu yöntemde birbiriyle karışmayan inorganik (genellikle su) ve organik çözücüler kullanılmaktadır. Analizi yapılacak metalin seçici bir kompleksi, organik çözücü içerisinde ekstrakte edilerek geri kalandan ayrılır. Bazı durumlarda, ek bir geri kazanma adımı gerekebilir.

Başka bir sıvı-sıvı ekstraksiyon tipi bulut-nokta ekstraksiyonudur (CPE). Bu yöntem yüzey aktif maddelerin kullanımına dayanmaktadır. Metal örneklerinin ayrılmasında, yüzey aktif madde yapılarına seçici bir metal türünün kompleksi dahil edilir ve ardından bulut-nokta ekstraksiyonu işlemi gerçekleştirilir. Literatöre baktığımızda bu yöntem ile su numunelerindeki Cr(IV) ve Cr(III)'ün birbirinden ayrıştırıldığını görebilmekteyiz. Burada Cr(IV)'ün p-oktil polietilenglikolfeneter (Triton X-100) ve dibromofenilfloron ile kompleksi oluşturulmakta ve su fazından uzaklaştırılıp zenginleştirilmektedir. Cr(III) ise sulu fazda kalmaktadır (Gonzalvez ve ark., 2010; Zhu ve ark., 2005).

### 2.9.3. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon işlemi, artık ağır metaller ile kirlenen atık suların arıtımı için etkili ve ekonomik bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Adsorpsiyon işlemi, tasarım ve kullanımda esneklik sunar ve birçok durumda yüksek kalitede arıtılmış atık su üretilmesini sağlar. Ek olarak, adsorpsiyon bazen tersine çevrilebilir olduğundan, adsorbanlar uygun desorpsiyon işlemi ile yeniden üretilbilirler. Adsorpsiyon işlemlerinde çeşitli adsorbanlar kullanılmaktadır (Fu ve Wang, 2011).

### **2.9.3.1. Aktif karbon adsorbanları**

Aktif karbon (AC) adsorbanları, ağır metal kirleticilerinin giderilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyük mikro gözenekli ve mezo gözenekli hacimlerinden dolayı yüksek yüzey alanına sahip olduklarından oldukça kullanışlıdır. Ancak günümüzde ticari olarak satılan kömür bazlı aktif karbonların azalması pahalı olmalarına neden olmaktadır.

### **2.9.3.2. Karbon nanotüplü adsorbanlar**

İlk olarak 1991 yılında Lijima tarafından keşfedilen karbon nanotüpler (CNT) mükemmel özellikleri ve uygulamaları vasıtasıyla geniş çapta incelenmiştir. Atık sularından kurşun (Wang ve ark., 2007a; Kabbashi ve ark., 2009), kadmiyum (Kuo ve Lin, 2009), krom (Pillay ve ark., 2009), bakır (Li ve ark., 2010) ve nikel (Kandah ve Meunier, 2007) gibi ağır metal iyonlarının giderilmesinde karbon nanotüplü adsorbanların büyük bir potansiyele sahip oldukları kanıtlanmıştır.

### **2.9.3.3. Düşük maliyetli adsorbanlar**

Aktif karbon (AC) en çok kullanılan adsorban olmasına rağmen yine de nispeten pahalıdır. Ağır metal iyonlarını gidermek için düşük maliyetli ve kolayca bulunabilen adsorbanlar aranması ana araştırma odağı haline gelmiştir. Bugüne kadar, düşük maliyetli adsorbanların kullanımı ile ilgili yüzlerce çalışma yayınlanmıştır. Tarımsal atıklar, endüstriyel yan ürünler ve atıklar ile doğal maddeler, ağır metal atıksu arıtımı için adsorban olarak incelenmiştir.

### **2.9.3.4. Bioadsorbanlar**

Ağır metallerin sulu çözeltilerden biyosorpsiyonu, ağır metal kirleticilerin uzaklaştırılmasında çok umut verici bir işlem olduğu doğrulanan nispeten yeni bir işlemdir. Biyosorpsiyonun ana avantajları, ağır metal iyonlarını azaltmada ve ucuz biyosorbanların kullanımında yüksek etkinliğidir. Biyosorpsiyon işlemleri seyreltik ağır metal atık suyunun arıtılması için özellikle uygundur. Tipik biyosorbanlar, aşağıdaki

gibi üç kaynaktan elde edilebilir (Apiratikul ve Pavasant, 2008). (1) kabuk, lignin, karides, kril, kalamar, yengeç kabuğu, ve benzeri gibi canlı olmayan biyokütle; (2) yosun biyokütle; (3) bakteri, mantar ve maya gibi mikrobiyal biyokütle.

#### **2.9.4. Birlikte çöktürme**

En sık kullanılan ön-deriştirme ve ayırma metotlarından biri olan birlikte çöktürme metodu, mevcut koşullar altında bir elementin kendi katı fazı oluşmadığında o elementin, oluşturulan bir çökelti üzerine tutturularak çöktürülmesidir. Birlikte çöktürme işlemi birçok faktöre bağlıdır. Bunlar pH, çökelti oluşum prosesi, sıcaklık, sulu fazın bileşimi, çökeltiyi oluşturan iyonların doğası, reaktiflerin çözeltiye ekleniş sırası ve çöktürücünün özellikleri gibi. Ayrıca bu yöntem bileşenlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile deneysel koşullara bağlı olarak eser miktardaki bileşenin çöktürücü yüzeyine adsorplanmasına ve kristallerin oluşumuna dayanır. Birlikte çöktürme metodu, içme suyu, deniz suyu, musluk suyu ve atık su gibi birçok su örneklerinde bulunan eser ağır metal iyonlarının tayini için kullanılan etkin bir analiz metodu olduğundan sıklıkla kullanılmaktadır. Basit ve hızlı bir metot olması ile çeşitli analat iyonlarının eş-zamanlı olarak ön-deriştirme ve matrikslerden ayrılabilmesi avantajlarındandır. Eser metal iyonlarının çöktürülmesinde genel olarak anorganik ve organik birlikte çöktürücüler kullanılmaktadır (Ege, 2005).

#### **2.9.5. Reçine kolonundan geçirme**

Ön-deriştirme yöntemlerinin kullanılmasıyla birlikte analitik sonuçlar için iyi bir doğruluk, kesinlik ve daha düşük gözlenebilme değeri elde etmek mümkün olmaktadır. Eser element analizlerinde, ön-deriştirme ve ayırma metotlarında son yıllarda Amberlit XAD türü adsorpsiyon reçineleri geniş bir uygulama alanı bulmuştur (Tokalıoğlu ve ark.,2000). Elde edilişleri ve kullanılışları bakımından organik esaslı sentetik amberlit reçineleri, iyon değiştirici ve adsorban olarak iki ana grupta toplanabilir. C6-400, IRA-900 ve IRC-718 iyon değiştirici amberlit reçineler arasında yer alırken, Amberlit XAD-2,-4,-7,-8,-11,-16 ve -1180 ve benzerleri gibi polimerik reçineler adsorban özelliğe sahip reçineler arasında bulunmaktadır (Tokalıoğlu, 1997).

Amberlit XAD reçineleri geniş yüzey alanlı, büyük ve homojen dağılımlı gözeneğe sahip, çapraz bağlı kopolimerler olup, organik çözücülere, asidik ve bazik ortamlara karşı kararlıdırlar. Ayrıca eluent olarak, organik maddelerin yanısıra asidik veya bazik çözeltilerin kullanılabilmesi gibi üstünlükleri vardır (Şahan, 2006).

### **2.9.6. Katı faz ekstraksiyonu**

Katı faz ekstraksiyonu (SPE, solid phase extraction) metodunda genellikle küçük, tek kullanımlık ekstraksiyon kolon veya diskler kullanılmaktadır. Çeşitli adsorbanlar ile doldurulan bu kolon ve disklerden sıvı numuneler geçirilerek ayırma ve zenginleştirme işlemi gerçekleştirilir. Sıvı numunelerin kolondan geçirilmesi esnasında zaman kaybını önlemek amacıyla vakum manifoldları kullanılabilir. SPE metodunda sıvı numunelerin kolondan geçirilmesi sırasında numune molekülleri ile adsorbent arasında kimyasal bir etkileşim meydana gelir. Bu etkileşimden faydalanarak maddelerin ayrılma işlemi iki yöntem ile gerçekleştirilir. Birinci yöntemde ilk olarak analiz edilecek bileşik adsorbente bağlanarak kolon içinde tutulurken, çözelti ve istenmeyen bileşenler adsorbent ile herhangi bir etkileşime girmez. Daha sonra uygun yıkama çözeltisi ile istenmeyen bileşenler kolondan uzaklaştırılır. Son olarak analiz edilecek bileşen adsorbentten uygun bir çözelti yardımıyla çözdürülerek alınır. İstenmeyen bileşenlerin adsorbent ile etkileşimi söz konusu olduğundan ikinci yöntem daha az tercih edilir. Özellikle atık yağlar gibi matriksden ayrılması zor olan maddelerin analizinde kullanılan bu yöntemde, matriksteki istenmeyen bileşenler tutucu madde tarafından sıkı şekilde bağlanırlar. Asıl aranan madde ise tutucu madde ile etkileşime girmez ve uygun çözelti yardımıyla çözdürülerek toplanır. Bu yöntemde, kolon içerisindeki adsorbent filtre işlevi görmektedir (Yavuz ve Aksoy, 2006).

### **2.10. Ağır Metallerin Belirlenmesinde Analitik Yöntemler**

Çevresel numunelerde ağır metallerin belirlenmesi için en popüler analitik yöntemler, alevli atomik absorpsiyon spektrometresi (FAAS) (Liu ve ark., 2008; Ghaedi ve ark., 2007; Dadfarnia ve ark., 2007), grafit fırınlı atomik absorpsiyon spektrometresi (GFAAS) (Liu ve Liang, 2008; Pedro ve ark., 2008), atomik emisyon spektrometresi (AES) (Webb ve ark., 2007), elektrotermal atomik absorpsiyon spektrometresi

(ETAAS) (Cvetkovic ve ark., 2006), atomik floresan spektrometresi (AFS) (Wu ve ark., 2007; Yu ve ark., 2007), endüktif olarak eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) (Maltez ve ark., 2008; Chen ve ark., 2007), endüktif olarak eşleşmiş plazma-atomik emisyon spektrometresi (ICP AES) (Deng ve Chan, 2001; Zhang ve ark., 2007), endüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometrisi (ICP-OES) (Mikula ve Puzio, 2007; Suleiman ve ark., 2007; Deng ve ark., 2008) ve soğuk buhar atomik absorpsiyon spektrometresi (CVAAS) (Ma ve ark., 2007) yöntemleridir. Bu yöntemlerin ağır metallerin kantitatif analizindeki popüleritesi, yüksek duyarlılıkları ve seçicilikleri nedeniyle şaşırtıcı değildir. Genellikle, yukarıda belirtilen yöntemler, her bir metalin toplam konsantrasyonunun belirlenmesi için uygulanır (Grabowska, 2011).

### 2.10.1. Atomik absorpsiyon spektrometrisi

Atomik absorpsiyon spektrometrisi (AAS), elementlerin konsantrasyonlarını ölçen analitik bir tekniktir. Atomik absorpsiyon o kadar hassastır ki, bir örneğin bir gramını milyarda bir parçasına kadar ölçebilir. Teknik olarak bir element tarafından absorbe edilen ışığın dalga boyu kullanılır. Bu ışınlar elektronları düşük enerji seviyesinden daha yüksek enerji seviyesine yükseltmek için gereken enerjilere sahiptirler (Anonymous, 2019).

Atomik absorpsiyon spektrometrisinin kimyanın farklı alanlarında birçok kullanımı bulunmaktadır. Bazı kullanım alanları şunlardır: (Anonymous, 2019).

**Klinik analizler:** Kan ve idrar gibi biyolojik sıvılarda metallerin incelenmesi.

**Çevre Analizleri:** Nehir suyu, deniz suyu, içme suyu, hava, petrol ve meyve suyu gibi içeceklerdeki çeşitli elementlerin seviyelerini belirlemek.

**İlaçlar:** Bazı farmasötik üretim işlemlerinde, işlemde kullanılan bir miktar katalizör (genellikle bir metal) bazen nihai üründe bulunur. AAS kullanılarak mevcut katalizör miktarı belirlenebilir.

**Endüstri:** Birçok hammaddede ana elementlerin mevcut olup olmadığını ve toksik safsızlıkların seviyelerini belirlemede AAS yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin; Kalsiyum betonun ana elementti olduğu için hammaddedeki bulunma seviyesi yüksektir. Ancak kurşun ise toksik olduğu için betondaki seviyesi daha düşük olmalıdır.

**Madencilik:** Kayalarda altın gibi metallerin miktarı belirlenerek kayaların madencilik işlemlerine maliyet açısından uygun olup olmadığı belirlenebilir.

### 2.10.1.1. AAS çalışma prensibi

Her element atomunun absorbe ettiği ışığın dalga boyu kendine özgüdür. AAS analizlerinde örneklerin absorbe ettiği ışığın dalga boyları kullanılmaktadır. Örneğin kurşun ile birlikte bir kurşun lambası, numuneden gelen kurşun atomları tarafından absorbe edilerek doğru dalga boyları karışımını üreten uyarılmış kurşun atomlarından ışık saçar. AAS'ta numune atomize edilir, yani numune buharlaştırılıp serbest atomlarına dönüştürülür. Uyarılmış kurşun atomlarından yayılan bir elektromanyetik ışın, buharlaştırılmış numuneden geçirilir. Işının bir kısmı numunedeki kurşun atomları tarafından absorbe edilir. Buharda bulunan atom sayısı arttıkça, absorbe edilen ışın da artar. Absorbe (emilen) ışık miktarı, kurşun atomlarının sayısı ile orantılıdır. Aynı koşullar altında kurşun derişimi bilinen bir numune ve derişimi bilinmeyen birkaç numune ile çalışılarak bir kalibrasyon eğrisi oluşturulur. Standardın emdiği miktar, kalibrasyon eğrisi ile karşılaştırılır ve bu, bilinmeyen örnekteki kurşun konsantrasyonunun hesaplanmasını sağlar. Sonuç olarak bir atomik absorpsiyon spektrometresinin üç bileşene ihtiyacı vardır: bir ışık kaynağı; atomları gaz haline dönüştürecek bir numune hücresi; ve emilen ışığı ölçecek bir araç (Anonymous, 2019).

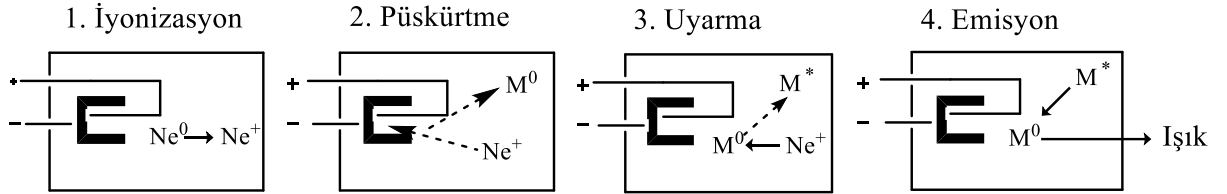
#### Işık kaynağı

Ortak ışık kaynağı, içi boş bir katot lambadır (**Şekil 2.1**). Bu ışık kaynağı, bir tungsten anot ve belirlenecek elementten yapılmış silindirik içi boş bir katot içerir. Bunlar, 1 N/m<sup>2</sup> ve 5 N/m<sup>2</sup> arasındaki bir basınçta, inert bir gazla (örneğin neon veya argon) doldurulmuş kapalı bir cam tüptür.



Şekil 2.1. Oyuk katot lambası

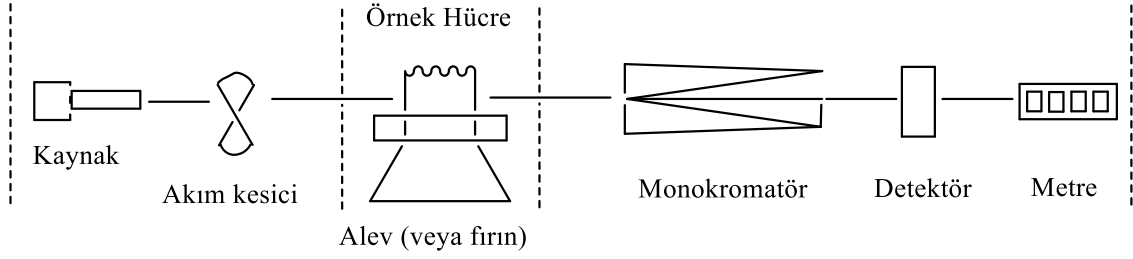
Bazı gaz atomlarının iyonizasyonu, anot ile katot arasında yaklaşık 300-400 V'luk bir potansiyel fark uygulanarak gerçekleşir. Bu gaz halindeki iyonlar katod ile bombardıman edilerek, püskürtme yoluyla katottan metal atomları ayırır. Bazı püskürtülmüş atomlar, uyarılmış durumdadırlar ve temel hale geri döndüklerinde metalin ışın karakteristiklerini yayarlar. Örneğin  $Pb^* \rightarrow Pb + h\nu$  gibi (Şekil 2.2). Katodun şekli, radyasyonu bir kuvars pencereden geçen bir kirişe yoğunlaştırır ve lambanın şekli, püskürtülen atomların çoğunun katot üzerinde yeniden biriktirileceği şekildedir. Tipik bir atomik absorpsiyon aleti, her biri farklı bir element için birkaç lamba bulundurur. Lambalar, doğru lambanın hızlı bir şekilde seçilebilmesi için dönen bir aynaya yerleştirilir.



Şekil 2.2. Atomun uyarılma basamakları

### Optik sistem ve dedektör

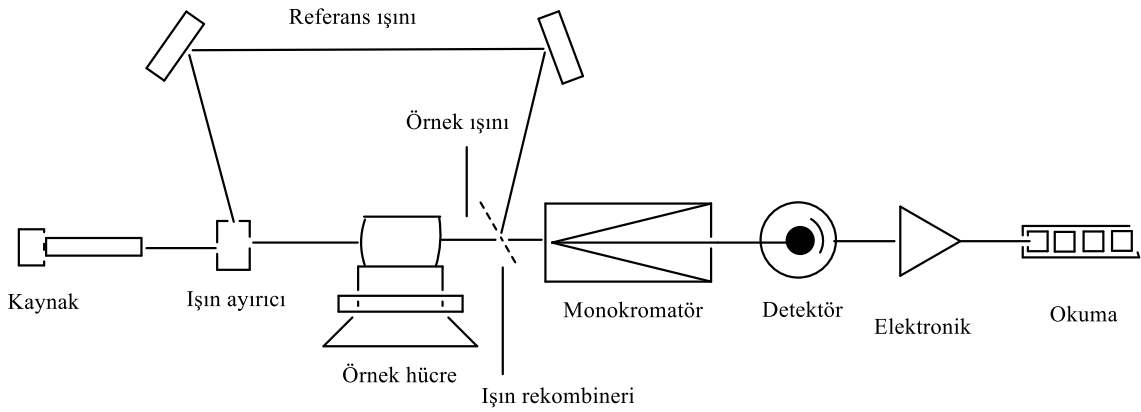
Bir monokromatör, örnek tarafından emilen ışığın spesifik dalga boyunu (yani spektral çizgiyi) seçmek ve diğer dalga boylarını dışlamak için kullanılır. Seçilen spesifik ışık, analiz edilecek elementin diğerlerinin varlığında belirlenmesine izin verir. Monokromatör tarafından seçilen ışık, tipik olarak bir fotoçoğaltıcı tüp olan bir detektöre yönlendirilir. Bu, ışık yoğunluğuna orantılı bir elektrik sinyali üretir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. AAS şematik gösterimi

### Çift ışınlı spektrometreler

Modern spektrometrelerde bir ışın ayırıcı bulunur, böylece ışının bir kısmı örnek hücreden geçer ve diğeri referanstır (Şekil 2.4). Analiz sırasında ışık kaynağının yoğunluğu sabit kalmayabilir. Atom hücresinden geçmek için sadece tek bir ışın kullanılırsa, ilk önce analit içermeyen boş bir okuma (analiz edilecek madde) alınmalı ve absorbans sifıra ayarlanmalıdır. Kaynağın yoğunluğu numunenin yerleştirildiği zamana göre değişirse, ölçüm yanlış olur. Çift ışın cihazında, referans ışın ve ışık kaynağı arasında sabit bir izleme bulunmaktadır. Spektrumun hassasiyet kaybından muzdarip olmamasını sağlamak için, ışın ayırıcı, lamba ışınının enerjisinden mümkün olduğu kadar yüksek bir oranda numuneden geçecek şekilde tasarlanmıştır.



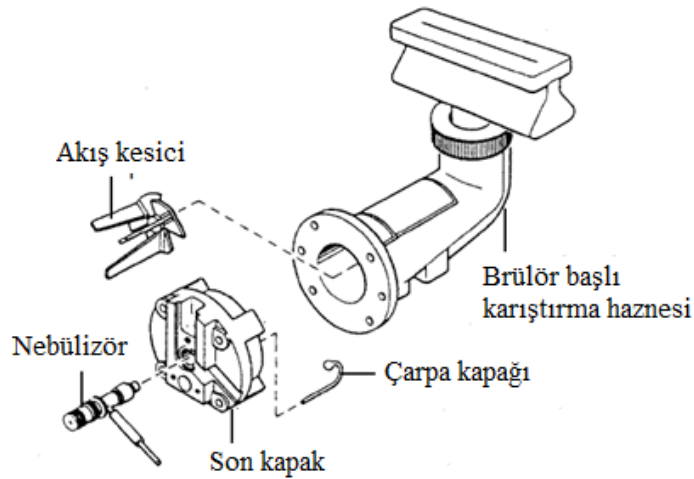
Şekil 2.4. Çift ışınlı AAS şematik gösterimi

## Numunenin atomizasyonu

Numuneden atom üretmek için yaygın olarak iki sistem kullanılır. Birincisi aspirasyon olup, bir örnek çözeltisinin bir alev tarafından emilmesini içerir. İkincisi ise elektrotermal atomizasyon olup, elektrikle ısıtılan bir grafit tüp içine bir damla numune yerleştirildiği düzenektir. Bazı cihazların her iki atomizasyon sistemine sahip olup, bir lamba grubunu paylaşır. Uygun lamba seçildikten sonra, bir veya diğer atomizasyon sistemine yönlendirilir.

## Alev aspirasyonu

**Şekil 2.5.** tipik bir brülörü ve püskürtme bölgesini göstermektedir. Alev olarak genellikle asetilen/hava (2200-2400 °C sıcaklıkta bir alev veren) veya asetilen/nitroz oksit (2600–2800 °C) karışımları kullanılmaktadır. Esnek bir kılcal boru, çözeltiyi nebulizöre bağlar. Kılcal kısmın ucunda, çözelti "nebulize edilir" - yani küçük damlalara bölünür. Daha büyük damlalar düşüp süzülürken, küçük olanlar alevde buharlaşır. Numunenin sadece yaklaşık % 1'i nebulize edilir.

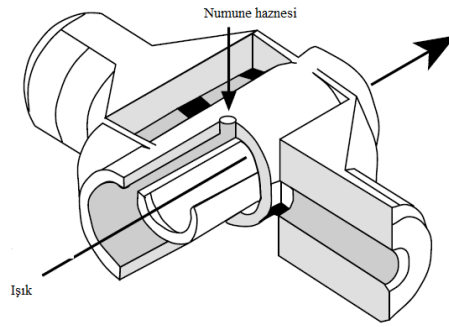


**Şekil 2.5.** Alev aspirasyonu

## Elektrotermal atomizasyon

**Şekil 2.6.** platformlu içi boş bir grafit tüpünü göstermektedir. 25 µl numune (bir yağmur damlasının yaklaşık 1/100'ü) otomatik mikropipet yardımıyla numune deliğinden ve numune değiştiriciden platforma yerleştirilir. Tüp, önceden

programlanmış bir dizi adımda içinden bir akım geçirilerek elektrikle ısıtılır. Şartlar numunenin özelliklerine göre değişiklik gösterebilir. Tipik olarak çözücüyü buharlaştırmak için 150 °C'de 30–40 saniye, herhangi bir uçucu organik materyali uzaklaştırmak ve numuneyi kül haline getirmek için 600 °C'de 30 saniye kadar ve çok hızlı bir şekilde elementleri buharlaştırmak ve atomize etmek (analiz edilen eleman dahil) için ise 5-10 saniye boyunca ısıtma hızı (yaklaşık 1500 °C s<sup>-1</sup>) ile 2000–2500 °C arasında olmalıdır. Bu ısıtma döngüsü sırasında grafit tüpü, tüpün yanmasını önlemek için argon gazı ile yıkanır. Elektrotermal atomizasyonda numunenin neredeyse % 100'ü atomize edilir. Bu, tekniği alev AAS'tan çok daha hassas hale getirir.

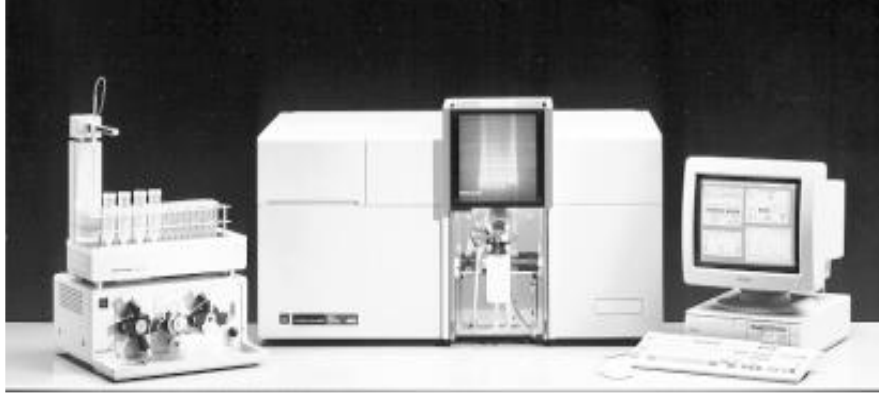


Şekil 2.6. İçi boş grafit tüp

### Örnek hazırlama

Numune hazırlama genellikle basittir ve elementin kimyasal formu genellikle önemsizdir. Bunun nedeni atomizasyonun, başlangıç durumuna bakılmaksızın numuneyi serbest atomlara dönüştürmesidir. Numune tartılır ve uygun seyreltme ile bir çözelti haline getirilir. İdrar ve kan gibi biyolojik sıvılardaki elementler genellikle orijinal numunenin seyreltilmesinden hemen sonra ölçülür. Şekil 2.7. bir otomatik örnekleyici ve akış enjeksiyon aksesuarı olan bir alev atomik absorpsiyon spektrometresini göstermektedir.

Analiz altındaki elementin referans çözeltileri hazırlanırken, kalibrasyon için, numunenin kimyasal ortamı mümkün olduğu kadar eşleştirilmelidir - yani analit aynı bileşik ve aynı çözücü içinde olmalıdır. Çok seyreltik çözeltileri analiz ederken teflon kaplar kullanılabilir, çünkü kurşun ve benzeri elementler bazen cam kaplardan sızarak sonuçları etkileyebilir.



Şekil 2.7. Atomik absorpsiyon spektrometresi

### Geri emilim

Tespit edilen elementin dışındaki diğer atomların veya moleküllerin, ışık kaynağından bir miktar ışın emmesi veya saçması mümkündür. Bu türler, buharlaştırılmamış çözücü damlacıklarını veya tamamen çıkarılmamış olan matrisin bileşiklerini (analiz edilen metallere eşlik eden anyonlar gibi kimyasal türler) içerebilir. Bu, numunenin yanı sıra bir geri emilim olduğu anlamına gelir.

Bu geri emilimi ölçmek ve düzeltmek için iki ışık kaynağı kullanılmaktadır. Birinci ışık kaynağı olarak ölçülen elemente uygun içi boş katot lamba kullanılırken ikinci ışık kaynağı olarak döteryum lamba kullanılır.

Döteryum lambası, içi boş bir katot lambasında olduğu gibi spesifik spektral çizgiler değil, geniş bant radyasyonu üretir. İki ışık kaynağının ölçümleri - genellikle 50–100 Hz'de - değiştirilerek, toplam absorpsiyon (analit atomlarına ve geri emilime bağlı absorpsiyon) içi boş katot lambasından gelen spesifik ışık ile ölçülür ve geri emilim absorpsiyonu ise döteryum lamba ile ölçülür. Geri emilimi toplam emilimden çıkararak, analit atomlarından kaynaklanan emilim hesaplanır.

### Kalibrasyon

Bir çözeltideki bir elementin bilinmeyen konsantrasyonunu belirlemek için bir kalibrasyon eğrisi kullanılır. Cihaz, bilinen konsantrasyonlarda çeşitli çözeltiler kullanılarak kalibre edilir. Daha konsantre çözeltiler kullanıldıkça sürekli olarak yeniden ölçeklendirilen bir kalibrasyon eğrisi üretilir - daha konsantre çözeltiler belirli bir absorbansa kadar daha fazla ışın absorbe eder. Kalibrasyon eğrisi, absorbe edilen

ışın miktarına karşı konsantrasyonu gösterir. Numune çözeltisi cihaza okutulurak kalibrasyon eğrisinde elementin bilinmeyen konsantrasyonu hesaplanır.

### **Girişimler ve matris modifikasyonu**

Numunede bulunan diğer kimyasallar atomizasyon işlemini etkileyebilir. Örneğin alev atomik emiliminde fosfat iyonları kalsiyum iyonları ile reaksiyona girerek kalsiyum pirofosfat oluşturur. Bu alevde ayrılmaz ve bu nedenle düşük kalsiyum okumasına neden olur. Bu sorun, numuneye kolayca ayrıştırılan daha uçucu bir bileşik verecek şekilde fosfatla reaksiyona girebilecek farklı reaktifler eklenerek önlenir. Fosfatı bağlamak ve kalsiyumun atomize olmasını sağlamak için kalsiyum içeren örnekler lantan nitrat çözeltisi eklenir, bu da kalsiyum emilimini fosfat miktarından bağımsız hale getirir. Elektrotermal atomizasyon ile, analit bileşiğinden daha uçucu hale getirmek için numunede karışan bir madde ile reaksiyona giren kimyasal değiştiriciler eklenebilir. Bu uçucu bileşen nispeten düşük bir sıcaklıkta buharlaşır ve elektrotermal atomizasyonun düşük ve orta sıcaklık aşamalarında uzaklaştırılır.

### **2.10.2. AAS'nin analitik performansı**

AAS'nin analitik performans parametreleri; duyarlık, doğruluk, kesinlik ve tayin sınırı olarak bilinir (Kariper, 2008).

#### **2.10.2.1. Duyarlık**

Analitik kimyada duyarlık, standart çözeltilerin derişimlerine karşı ölçülen absorpsiyon değerlerinin grafiğinin kalibrasyon eğrisinin eğimi şeklinde ifade edilir. Atomik absorpsiyon spektrofometresinde ise duyarlık, analiz elementinin net olarak % 1'lik absorpsiyonuna değerine karşılık gelen çözeltinin derişimi şeklinde ifade edilmiştir (Oymak, 2003).

### 2.10.2.2. Doğruluk

Analitik kimyada doğruluk, bir analitin ölçülen değerinin bilinen gerçek değere olan yakınlığı şeklinde tanımlanır ve uygulamada analizin çok kez tekrarlanması sonucunda elde edilen değerlerin ortalamasının gerçek değere yakınlığı şeklinde ifade edilir (Oymak, 2003).

### 2.10.2.3. Kesinlik

Kesinlik, tanım olarak elde edilen sonuçların tekrarlanabilir olmasının ölçüsüdür. Bir ölçümde sonuçlar birbirine yakınlığı ne kadar yüksekse ölçümün kesinliği de o kadar yüksek olarak kabul edilir. Kesinliğin yüksek olmasının en yaygın ölçüsü standart sapmanın bir o kadar düşük olması şeklinde ifade edilir (Gündüz, 2002).

Analitik kimyada gözlenebilme sınırı analitik yöntemin performansını belirleyen en belirleyici ölçüt olmasının yanısıra aynı zaman cihazın performansına da bağlıdır. Gözlenebilme sınırı teorik olarak analitin tayin edilebilen en küçük derişimi olarak tanımlanır ve  $x = x_{k\ddot{u}r} + 3 \cdot s_{k\ddot{u}r}$  ile bulunan derişimdir.  $x_{k\ddot{u}r}$ , kör çözeltinin ortalama sinyalini ve  $s_{k\ddot{u}r}$  de standart sapmasını göstermektedir, tespit edilen  $x$  absorbansı gösterir ve kalibrasyona eğrisine karşılık gelen derişim bu grafikten hesaplanır. Bu değer gözlenebilme sınırını belirler. Herhangi bir analitik yöntem ya da cihazın sahip olduğu duyarlık özellikle gözlenebilme sınırını etkileyen en önemli faktörlerdendir (Elçi, 1998).

### 2.10.2.4. Tayin sınırı

Analitik ölçümlerde tayin yapılırken metodun geçerliliğini korumak için genellikle gözlenebilme sınırına yakın derişimlerde tayin yapılamaz. Bu durumlara tayinin yapıl derişim değerinin en az 5 ya da 10 katı alınmalıdır. Bu değer tayin sınır değeri olarak adlandırılır (Hazer, 2003; Elçi, 1998, Gündüz, 2002).

### 2.10.3. AAS ile elementlerin kantitatif tayini

Atomik absorpsiyon spektrometre cihazı yaygın olarak metallerin tayininde özellikle de eser elementlerin tayininde kullanılır. Bütün element atomları kendilerine

özgü dalga boyundaki ışını absorplayıp uyarıldıkları zaman elektronların bulunduğu daha yüksek enerji seviyelerine bağlı olarak farklı şiddetlerde ve dalga boylarında absorpsiyon hatları oluşur. Spektroskopik analizlerde çalışılacak dalga boyu seçilirken en şiddetli absorpsiyonun olduğu dalga boyu belirlenir. Böylece seçilen dalga boyunda küçük derişimlerde bile absorbans değerleri okunabilir. AAS'de okunan absorbans değerleri çizgi spektrumuna girer. Çizgi kalınlığı 0,05 Å kadardır. AAS'de elementlerin kantitatif tayini için kalibrasyon grafiği ve standart ekleme yöntemleri kullanılır (Şahan, 2006).

### **2.10.3.1. Kalibrasyon grafiği yöntemi**

Atomik absorpsiyon spektrometresinde kantitatif analiz Lambert – Beer yasasına göre yapılır. Tayin için gerekli optimum şartlar sağlandıktan sonra derişimleri bilinen standart çözeltilerin absorbans değerleri ölçülerek bunlara karşılık gelen derişimler grafiğe aktarılarak uygun bir kalibrasyon eğrisi elde edilip numunenin absorbansı okunarak grafikteki değere karşılık gelen değer analiz edilen numunenin derişim değeri olarak kaydedilir (Şahan, 2006).

### **2.10.3.2. Standart ekleme yöntemi**

Analitik tayin sırasında numunenin bulunduğu matriksten kaynaklı fiziksel ve kimyasal girişimler sonuçları etkileyerek sapmalara neden olurlar. Numunedeki matriks eğer tam olarak bilinmezse matriksin etkisini standart çözeltilerle tümüyle bertaraf etmek mümkün olmaz. Yani örnekteki absorbans derişim ilişkisi standart çözeltilerinkinden farklıdır. Bu gibi durumlarda standart ekleme yöntemi kullanılır. Bunun için numune en az üçe ayrılır. Birinci kısım belli bir hacme kadar çözücü ile seyreltilir. İkinci ve üçüncü kısımlara artan miktarlarda standart çözeltiden ekleme yapılır ve çözücü ile birincinin hacmine getirilir. Her çözeltilinin absorbansı ölçülür ve eklenen element derişimlerine karşı absorbanslar grafiğe geçirilir. Kalibrasyon doğrusunun yatay eksenini kestiği noktanın negatif işaretlisi çözeltideki bilinmeyen derişimini verir (Şahan, 2006).

## **2.11. ICP-MS(Inductively Coupled Plasma – Mass pectrometer)=indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometrisi**

Yüksek derişimde eşit miktarlarda katyon ve elektron içeren, iletken bir plamazda, atomlar ve iyonların uyarılması sonucunda yaydıkları emisyonun ölçülmesi prensibine dayalı aletli bir analiz yöntemidir. ICP-MS'in en büyük avantajı, optik tayine kıyasla kütle spektrometrik tayininin daha düşük gözlenebilme sınırları sağlamasıdır. Kalitatif, kantitatif ve yarı kantitatif olarak katı ve sıvı örneklerindeki birçok elementin hızlı, ucuz, hassas ve doğru biçimde ölçülmesine imkan sağlayan ileri teknoloji bir analiz yöntemidir.

### **ICP-MS ile analiz aşağıdaki basamakları kapsar**

İlk olarak analizi yapılacak numune atomlaştırma ile atomik hale getirilir. Ardından oluşan atomların büyük bir kısmı iyonuna dönüştürülür. Bundan sonra iyonların kütle/yük oranlarına ( $m/z$ ) göre ayrılması gerçekleşir (burada  $m$ , iyonun kütlesi,  $z$  ise yüküdür). Son olarak da her bir iyonun sayılarının sayımı veya uygun bir dedektörle numunenin çarpışmasından oluşan iyonların ürettiği iyon akımları ölçülür.

Atomik optik spektrometrik yöntemlere oranla atomik kütle spektrometri yönteminin daha fazla sayıda üstünlük ve avantajları vardır. Bunlar; gözlenebilme sınırları, tayini yapılacak numuneye özgü daha basit spektrum elde edilmesi ve kolay yorumlanabilmesi olarak sıralanabilir. Ayrıca atomların izotop oranlarının ölçülmesini mümkün kılması da bir diğer üstünlüğüdür. En büyük dezavantajı ise optik atomik cihazlara göre iki üç kat daha pahalı olmasıdır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

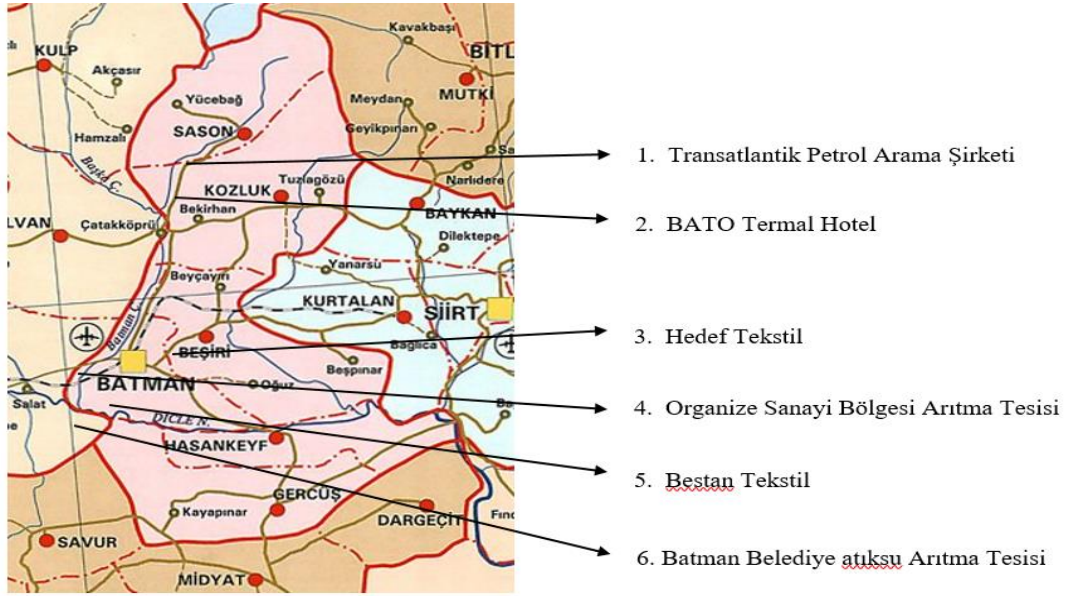
#### 3.1. Ölçmelerde Kullanılan Alet, Malzeme ve Kimyasal Maddeler

5-aminoizoftaloilhidrazin	ICP-MS cihazı (Perkin-Elmer) marka
Alüminyum folyo	Kaba süzgeç kağıdı
Amonyak	Mavi band süzgeç kağıdı (125 mm)
Amonyum klorür	Mikropipetler (0-50 µL, 50-200 µL, 200-1000 µL)
Analitik huni	Nitrik asit (HNO <sub>3</sub> )
Balon jojeler (10 ml, 25 ml, 50 ml, 100 ml, 500 ml, 1000 ml)	Numune kabı
Beherler (10 ml, 25ml, 50 ml, 100 ml)	Orion benchtop pH metre
Benzaldehit	Peristaltik pompa
Cam pamuğu	pH metre
Dietileter	Pipetler
Dimetil-5-aminoisofalat	Piset
Distile su cihazı	Plastik kap
DMF (Dimetilformamid)	Potasyum dihidrejen fosfat
Elektronik terazi	Puar
Etanol	Saat camı (80 mm)
Etüv	Sodyum asetat
FAAS (Thermo Solaar Marka	Sodyum klorür (NaCl)
Spektrofotometre)	Sodyum monohidrojen fosfat
Glasiyel asetik asit	Sülfirik asit
HCl (hidroklorik asit)	Süzme Kolonu
Hot-plate ısıtıcı	TEA (Trietilasetat)

#### 3.2. Numune Toplama ve Hazırlama

Analizi yapılacak suyun alınacağı yer, zaman ve şekli önemlidir. Bu faktörlerde meydana gelebilecek değişimler analizi yapılan suyun derişimini doğrudan yada dolaylı olarak etkileyip hatalara sebep olacaktır. Bu yüzden numune toplarken aşağıdaki hususlar dikkate alınmıştır.

1. Analizi yapılacak olan atık, arıtılmış ve temiz sular Batman da faal olan arıtma tesislerinden giriş, çıkış ve temiz olmak üzere üç adet numune alınıp kodlanmıştır.
2. Numune alınırken polietilen tereftalat (PET) kablak kullanılmıştır.
3. Numune almadan önce numune kablakları 2 M HNO<sub>3</sub> ile yıkanmıştır.
4. Numune alma esnasında numune kablakları numune suyu ile en az iki kez çalkalanmıştır.
7. Numune kablakları hava boşluğu kalmayacak şekilde doldurulmuştur.
8. Numune kablaklarının ağzı hava almayacak şekilde kapatılmıştır.
9. Numune kablaklarının üzeri etiketlenerek işlem tamamlanmıştır.



Şekil 3.1. Numunelerin alındığı yerler

### 3.3. Ligand Olarak Kullanılan Bileşiğin Sentezlenmesi

Ligand'ın sentezlenmesinde öncelikle dimetil-5-aminoisofthalat'ın hidrazit türevi hazırlandı. Daha sonra bu bileşiğin benzaldehit ile hidrazon türevi sentezlendi (Gübbük ve ark., 2006).

#### 3.3.1. Hidrazit türevinin hazırlanması

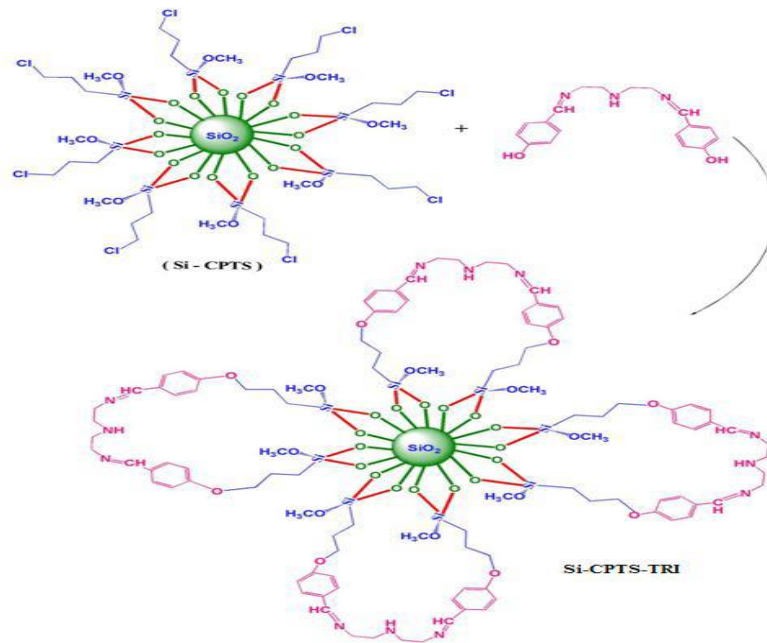
4.18 g (20 mmol) dimetil-5-aminoisofthalat 20 mL hidrazin hidratta çözüldü. Oluşan çözelti geri soğutucu altında 4 saat reflaks edildi. Ürünün oluşması için çözelti

bir gece laboratuvar sıcaklığında bekletildi. Daha sonra çözelti süzülüp kurutuldu, etanol ve dietileter ile yıkandı. E.N. 295-296 °C, verim: % 92.

### 3.3.2. Hidrazon türevinin senetezlenmesi

4.18 g (20 mmol) 5-aminoizoftaloilhidrazin 20 mL DMF'de çözüldü. Bu çözeltiyeye 20 mL DMF'de çözülmüş 4.066 mL (20 mmol) benzaldehit damla damla ilave edildi. Oluşan çözelti geri soğutucu altında 2 saat riflaks edildi. Çözelti buzlu suya aktarıldı. Daha sonra süzülüp etanol ile kaynatıldı ve tekrar süzülüp kurutuldu. E.N. 325-328 °C, verim: % 85.

Modifiye Silika Jel'e Benzaldehit-5-aminoizoftaloilhidrazon'un İmmobilizasyonu 7.5 g modifiye silika jel, 5 g ligand ve 10 mL TEA 80 mL DMF'de çözüldü. Karışım azot atmosferi altında 165 °C de geri soğutucu altında 96 saat karıştırıldı. Daha sonra karışım oda sıcaklığına soğutulup 50 mL DMF ve 50 mL etanol ile yıkandı. Oluşan ürün 70 °C'de etüvde kurtulup desikatörde saklandı. Adsorbentin hazırlanması Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Adsorbentin hazırlanması

### 3.4. Katı Faz Ekstraksiyon ile Zenginleştirme

Bu çalışmada katı faz ekstraksiyonun kolon tekniği kullanılarak, sentezlenen Si-CPTS –TRI adsorbentinin tayinini yapacağımız eser elementlerin tayini için uygunluğu araştırıldı.

Çalışmada optimum şartlar araştırılarak, çalışılan numunenin derişimi, pH'ı geri alma çözeltisi, akış hızı, hacmi, yabancı iyon etkisi ve adsorban kapasitesi araştırılmıştır. Yöntemin geçerliliği bilinen miktarda analit iyonlarının gerçek numuneye eklenerek yapılan geri kazanma çalışmasıyla test edilmiş ve gerçek numunelere uygulanmıştır.

#### 3.4.1. Kolon düzeneğinin hazırlanması

Tüm atık, arıtılmış ve temiz su örnekleri işleme başlamadan önce mavi bant süzgeç kağıdı ile süzüldü. Katı faz ekstraksiyonu için kolon düzeneği kuruldu. Burada 250 ml lik balon haznesi olan 15 cm uzunluğunda 1 cm çapında cam kolonlar kullanıldı. 1 gram adsorbent kolona yerleştirildi öncesinde ve sonrasında adsorbent cam pamuğu ile sabitlendi. Kolon her bir işlemde sonra sırasıyla 10'ar ml, 2M, Nitrik asit ve 2M, HCl ile yıkandı, daha sonra pH' en deneysel olarak belirlenmiş kör çözelti ile her ölçümde şartlandırma yapıldı. Hazırlanan model çözeltiler, önceden belirlenmiş olan en uygun akış hızlarıyla peristaltik pompa kullanılarak kolondan geçirilip; kolon 10 mL saf suyla yıkandıktan sonra, kolonda adsorbente tutunan metaller, uygun geri alma çözeltisi ile alınıp FAAS ile tayin edilmiştir (Erdoğan, 2015).

### 3.5. Örnek Çözeltiler İçin Uygun Deneysel Şartların Tespiti

Bu çalışmada en uygun deneysel şartlar örnek çözeltiler yardımıyla tespit edilmiştir. Model çözeltilerin hazırlanması: Örnek çözelti için, analit iyonlarını içeren çözelti ve uygun miktarda tampon çözelti balona ilave edilerek son hacim, 50 mL'ye saf suyla tamamlanmıştır. Örnek çözeltinin pH'ını 2,5 ile 8,5 değerlerine ayarlamak için sodyum asetat-asetik asit, sodyum monohidrojen fosfat-potasyum dihidrojen fosfat ve amonyum klorür-amonyak tampon çözeltileri kullanılmıştır. Çalışmada hazırlanan zenginleştirme kolonlarında analit iyonlarının geri kazanılmasında en iyi çalışma koşullarının ve performans faktörlerinin belirlenmesi aşağıdaki şek gerçekleştirilmiştir.

### 3.5.1. Örnek çözelti pH'nın analit geri kazanımına etkisi

Belirlenmiş en uygun akış hızı ile kolondan geçirilen, farklı pH'lar daki örnek çözeltilerin, analit iyonlarının geri kazanma verimi % olarak tespit edilip çözelti pH' değerine karşı grafiğe geçirilmiştir. Burada geri kazanma veriminin analitik olarak %93 ila %106 arasında elde edilen değerler pH, en uygun pH değeri olarak kabul edilmiştir.

### 3.5.2. Geri alma çözeltilisinin analit geri kazanma çözeltilisine etkisi

Kolon yöntemiyle zenginleştirme yapılırken kolondaki adsorban tarafından alıkonulan analitlerin uygun bir çözücü kullanarak geri alınmalıdır. Kullanılan her bir çözücünün analit ve adsorban üzerindeki etkisi farklılık gösterdi. Bu sebeple en iyi geri kazanma verimine ulaşmak için farklı derişim ve hacimdeki inorganik asitler (HNO<sub>3</sub>, HCl, HClO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gibi) kullanılmaktadır. Analitik değerlendirme için kabul edilebilen geri kazanma değerlerini ( $\geq$  %95) sağlayan en uygun geri alma çözeltileri deneylerin diğer aşamalarında kullanılmıştır.

### 3.5.3. Örnek çözelti hızının analit geri kazanma verimine etkisi

Örnek çözeltiler en iyi pH değerine ayarlandıktan sonra peristaltik pompayla farklı akış hızlarıyla kolondan geçirilip analit iyonlarının geri kazanılarak geri kazanılma, verimleri hesaplanmıştır. Akış hızlarına bağlı geri kazanma verimleri (%) olarak hesaplanıp grafiğe geçirilerek, analitik olarak kabul edilebilir. Geri kazanımın (% 96 ile % 105 arasında) olduğu tespit edilmiş olup buradaki akış hızı en iyi akış hızı olarak kaydedilmiştir.

### 3.5.4. Örnek hacminin analit geri kazanma verimine etkisi

Aynı miktarda analit içeren farklı hacimlerde ve uygun pH'lardaki örnek çözeltiler uygu akış hızıyla kolondan geçirilerek, analit iyonlarının en uygun geri alma çözeltileri belirlenerek geri kazanma verimleri % olarak hesaplanmıştır. Bu ölçüm sonuçlarından geri kazanma verimi %97 olarak kaydedilmiştir. En büyük örnek

hacminin en uygun geri alma çözeltilisine oranı ZF (Zenginleştirme Faktörü) olarak belirlenmiştir.

### 3.5.5. Analit geri kazanma verimine adsorban miktarının etkisi

Örnek çözeltiler hazırlanarak, kolon için hazırlanan adsorbentlerin değişken miktarlarını içeren kısmı kolondan uygun koşullar sağlanarak geçirilmiştir. Adsorban miktarına karşılık kullanılan analit iyonlarının geri kazanma verimleri grafiğe geçirilerek en uygun adsorban miktarları tespit edilmiştir.

### 3.5.6. Yabancı iyonların analit geri kazanma verimine etkisi

Kimyasal analizlerde en önemli aşama analit üzerine örnek ortamının (matriksin) bozucu etkisinin olup olmamasının belirlenmesidir. Bu amaçla geliştirilen yöntemlerde analit iyonlarının geri kazanma verimine yabancı iyonların girişim etkisi; model çözeltilere çeşitli katyonların ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  vb.) farklı derişimlerde ilave edilmesiyle araştırılmıştır.

### 3.5.7. Adsorbsiyon kapasitesi ve adsorbsiyon modelleri

Bir ortamda bulunan türlerin bir adsorban tarafından hangi miktarlara kadar adsorblanabileceğinin değerlendirmek için adsorban kapasitesilerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde biriken madde derişimi ve çözeltilde kalan madde derişimi arasında bir denge oluşuncaya kadar devam eder. Matematiksel olarak bu denge adsorpsiyon izotermi ile açıklanmaktadır. Zaman içerisinde birçok araştırmacı, farklı izoterm denklemleri ortaya koymuşlardır. En genel kullanım gören izotermiler Freundlich ve Langmuir denklemleridir.

## 3.6. Ölçme Metodu

Eser element analizleri son zamanlarda çevre ve canlı sağlığı açısından çok büyük önem kazandığından, hızla yeni analiz teknikleri geliştirilmekte ve uygulamaya konulmaktadır. Ancak her metodun kendine has belirli özellikleri, avantajları ve

dezavantajları bulunmaktadır. Her bir metotta numunenin analize hazırlanması veya metodun o numuneye duyarlılığı farklıdır. Eser element analizleri, numune matrisinin anorganik veya organik oluşuna göre farklı şekillerde yapılır. Bu iki grup numune arasındaki en önemli fark, numune maddesinin analize hazırlanması aşamasındadır. Analitik kimyada eser element tayini için klasik ve aletli metotlar kullanılır. Genellikle kalitatif analiz için klasik, kantitatif analiz için de aletli analiz metotları kullanılmaktadır (Demir, 1986). Aletli metotlar ile element analizi, elementin çeşitli özelliklerinin ölçülmesi esasına dayanır. Eser element tayininde genellikle Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (AAS) kullanılır (Baucells ve ark., 1985; Kartal ve ark., 1992; Berrow ve Stein, 1983; Baucells ve Kelipo, 1985; Jackson ve ark., 1991; Hinds ve Jackson, 1991). AAS ölçme süresinin kısa ve hassasiyetinin yüksek olması nedeniyle yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Toprağın, bitkinin ve gübrenin analizinde en iyi metot Alevli Atomik Absorpsiyon Spektroskopisidir (FAAS). Daha sonra da Grafit Fırımlı Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi gelir (GFAAS) (Baucells ve Kelipo, 1985).

### 3.7. Standart Çözeltilerin Hazırlanması

Tayini yapılacak her bir elementin optimum çalışma aralığında olacak şekilde 2M HNO<sub>3</sub> ortamında 6 farklı elementi içeren 100 ml'lik 6 standart çözelti hazırlandı. Karışımın içerdiği elementler ve konsantrasyonları Çizelge 3.1'de verilmiştir (Demir, 1986; Ure ve Mitchell, 1976; Ure ve ark., 1978).

**Çizelge 3.1.** Kalibrasyon grafiği için hazırlanan standart karışım çözelti konsantrasyonları (ppm), 2M HNO<sub>3</sub> ortamında

Element	Standart No					
	1	2	3	4	5	6
As	0.1	0.4	0.8	1.2	1,6	2,0
Cd	0.2	0.4	0.8	1.2	1,6	2,0
Ni	0.5	1.0	2.0	4.0	6,0	8.0
Co	1.0	2.0	3.0	4.0	4,0	5.0
Pb	2,0	4,0	8,0	12,0	16,0	20,0
Se	0.2	0.4	0.8	1.2	1,60	20,0

### 3.8. Ölçmelerle İlgili Deneysel Parametreler

Bu çalışmada incelenen eser elementlerin (As, Pb, Cd, Ni, Co, Pb, Se) konsantrasyonları Thermo Solaar marka spektrofotometre (FAAS) ile ölçülmüştür. FAAS'de ışın kaynağı olarak oyuk katot lambaları kullanılmıştır. Her element için çalışma şartları **Çizelge 3.2**'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** AAS aleti ile ilgili parametreler

Element	Dalga Boyu (nm)	Slit Aralığı (nm)	Akım Şiddeti (A)
As	219,0	0.4	0.8
Cd	228.8	0.7	10
Co	240.7	0.2	30
Co	240.7	0.2	30
Pb	217.0	0.7	15
Se	196.0	0.5	40

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Numunelerin Analizleri

Batman merkez, köy ve ilçelerinden olmak üzere altı arıtma tesisinden alınan atık, arıtılmış ve temiz olmak üzere üçer adet su numunesi alındı. Daha sonra bu numuneler uygun şartlar altında muhafaza edilerek işleme tabi tutuldu. Su numuneleri katı faz ekstraksiyon yöntemiyle zenginleştirildi. Zenginleştirme işlemi yapılırken kolon tekniği kullanıldı. Zenginleştirmenin verimli olup olmadığını kontrol için iki adet element analizi aynı zamanda ICP-MS yöntemiyle ölçüldü. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak tablolar halinde verilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar hem kendi aralarında hem de diğer değerlerle ve aynı zamanda TS-266 ve diğer su kriterlerine uygunluğu tartışıldı. Ağır metaller (Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Kurşun (Pb), Selenyum (Se))'in tayinleri Thermo Solaar Marka AAS cihazı ile ölçüldü. Ayrıca As ve Se ölçümü Perkin Elmer Marka ICP-MS ile yapıldı. Elde edilen ölçümler  $\mu\text{g/L}$  (ppb) derişimi cinsinden hesaplanarak tablo haline getirildi sonuçlar **Çizelge 4.1, -4.2, -4.3, -4.4, -4.5, -4.6, -4.7, -4.8**'de verilmiştir.

### 4.2. Ölçülen Değerlerin Tablo Halinde Gösterilmesi

#### 4.2.1. AAS ile ölçülen ağır metaller

**Çizelge 4.1.** 1. Arıtma lokasyonundan alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb ( $\mu\text{g/L}$ )

1.Arıtma	Giriş suyu	Çıkış suyu	Temiz su
Arsenik(As)	4,55±0,29	2,10±0,15	4,15±0,21
Kadmiyum(Cd)	14,50±0,12	1,21±0,11	0,17±0,01
Kobalt(Co)	18,91±0,14	0,90±0,01	0,05±0,001
Nikel(Ni)	1,00±0,01	0,00±0,00	0,00±0,00
Kurşun(Pb)	45,02±2,32	19,32±,29	5,23±0,11
Selenyum(Se)	12,40±0,45	1,11±0,11	0,00±0,00

Çizelge 4.2. 2. Arıtma tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb ( $\mu\text{g/L}$ )

2.Arıtma	Giriş suyu	Çıkış suyu	Temiz su
Arsenik(As)	4,32±0,21	4,10±0,02	1,82±0,01
Kadmiyum(Cd)	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Kobalt(Co)	0,29±0,01	0,038±0,01	0,00±0,00
Nikel(Ni)	0,88±0,02	0,024±0,001	0,00±0,00
Kurşun(Pb)	4,25±0,18	1,22±0,02	0,00±0,00
Selenyum(Se)	0,031±0,01	0,00±0,00	0,00±0,00

Çizelge 4.3. 3. Arıtma I tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb ( $\mu\text{g/L}$ )

3.Arıtma	Giriş suyu	Çıkış suyu	Temiz su
Arsenik(As)	5,73±0,1	3,71±0,2	3,05±0,021
Kadmiyum(Cd)	1,53±0,01	0,05±0,01	0,00±0,00
Kobalt(Co)	2,87±0,2	0,1±0,01	0,00±0,00
Nikel(Ni)	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Kurşun(Pb)	9,22±0,41	0,00±0,00	0,00±0,00
Selenyum(Se)	2,16±0,12	1,27±0,1	1,60±0,21

Çizelge 4.4. 4. Arıtma tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb ( $\mu\text{g/L}$ )

4.Arıtma	Giriş suyu	Çıkış suyu	Temiz su
Arsenik(As)	4,89±0,31	2,82±0,21	4,80±0,31
Kadmiyum(Cd)	1,82±0,01	0,20±0,014	0,26±0,01
Kobalt(Co)	1,84±0,01	0,32±0,01	0,26±0,02
Nikel(Ni)	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Kurşun(Pb)	7,12±0,23	0,95±0,11	0,06±0,01
Selenyum(Se)	0,94±0,02	0,00±0,00	0,06±0,01

Çizelge 4.5. 5..Aritma tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb ( $\mu\text{g/L}$ )

5.Aritma	Giriş suyu	Çıkış suyu	Temiz su
Arsenik(As)	2,58±0,12	1,68±0,01	3,40±0,32
Kadmiyum(Cd)	3,60±0,14	0,58±0,01	1,62±0,24
Kobalt(Co)	0,12±0,01	0,00±0,00	0,59±0,02
Nikel(Ni)	2,29±0,01	0,65±0,01	0,00±0,00
Kurşun(Pb)	2,26±0,01	0,29±0,01	3,97±0,35
Selenyum(Se)	2,35±0,01	0,56±0,01	1,93±0,028

Çizelge 4.6. 6. Aritma tesisinden alınan numunelerin ağır metal derişimleri ppb ( $\mu\text{g/L}$ )

6.Aritma	Giriş suyu	Çıkış suyu	Temiz su
Arsenik(As)	3,48±0,02	2,72±0,014	2,41±0,013
Kadmiyum(Cd)	0,00±0,00	0,68±0,01	0,30±0,02
Kobalt(Co)	1,21±0,14	0,1±0,001	0,01±0,018
Nikel(Ni)	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00±0,00
Kurşun(Pb)	2,05±0,01	0,65±0,001	0,10±0,01
Selenyum(Se)	2,14±0,02	0,57±0,001	0,00±0,00

#### 4.2.2. ICP-MS ile ölçülen ağır metaller

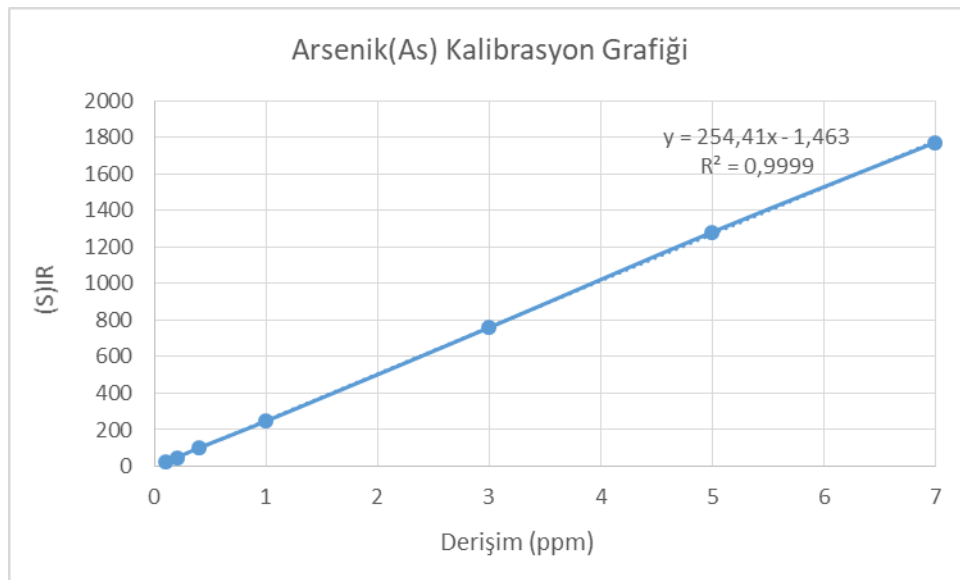
Çizelge 4.7. Tüm arıtma tesisinden alınan numunelerin Arsenik (As) derişimleri ppb ( $\mu\text{g/L}$ )

Arsenik(As)	Giriş suyu	Çıkış suyu	Temiz su
1	3,59±0,32	2,26±0,01	2,41±0,13
2	4,72±0,16	0,68±0,012	0,30±0,002
3	3,39±0,18	0,1±0,01	0,01±0,001
4	2,69±0,11	0,00±0,00	0,00±0,00
5	3,12±0,14	0,65±0,00	0,10±0,002
6	2,63±0,011	0,57±0,011	0,00±0,00

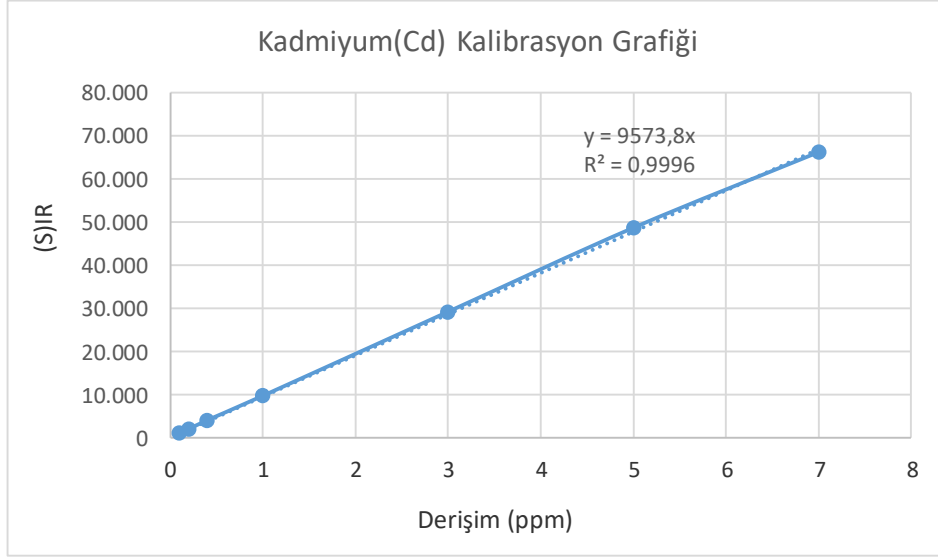
**Çizelge 4.8.** Tüm arıtma tesisinden alınan numunelerin Selenyum (Se) derişimleri ppb ( $\mu\text{g/L}$ )

Selenyum(Se)	Giriş suyu	Çıkış suyu	Temiz su
1	9,96±0,29	1,62±0,01	0,65±0,003
2	0,92±0,01	0,68±0,01	0,30±0,002
3	2,85±0,03	1,63±0,01	1,36±0,001
4	1,38±0,01	0,68±0,001	0,21±0,0031
5	2,63±0,012	0,96±0,002	2,36±0,001
6	1,95±0,013	0,48±0,001	1,21±0,0021

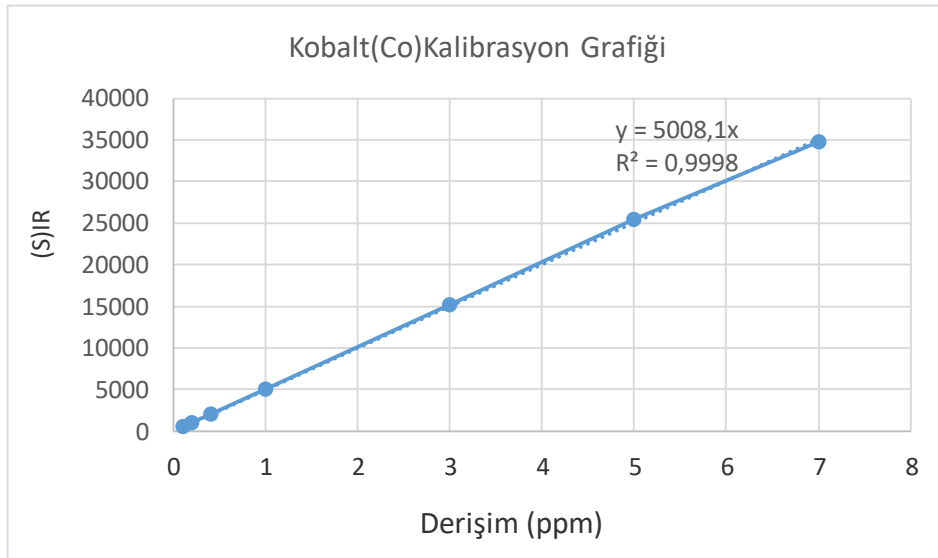
#### 4.2.3. Ölçülen ağır metallerin kalibrasyon grafikleri



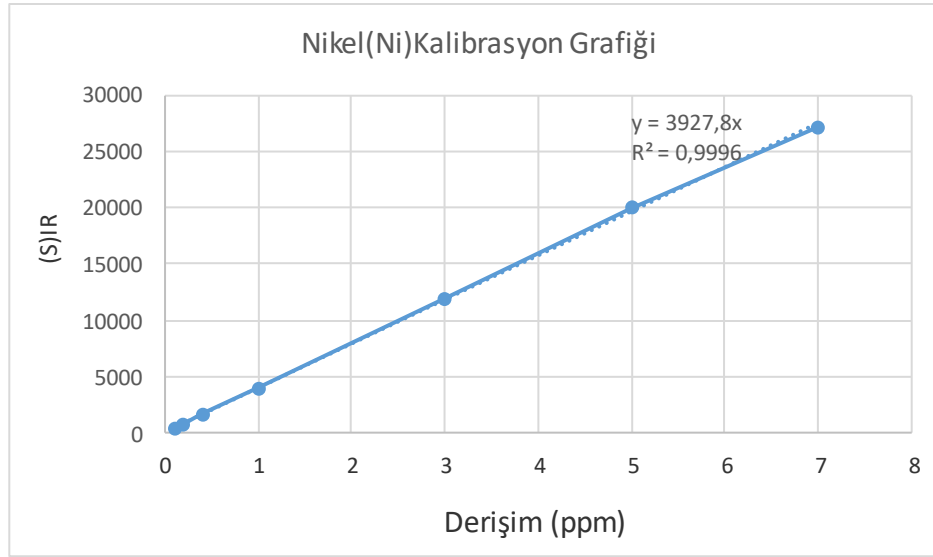
**Şekil 4.1.** Arsenik için çizilen kalibrasyon grafiği



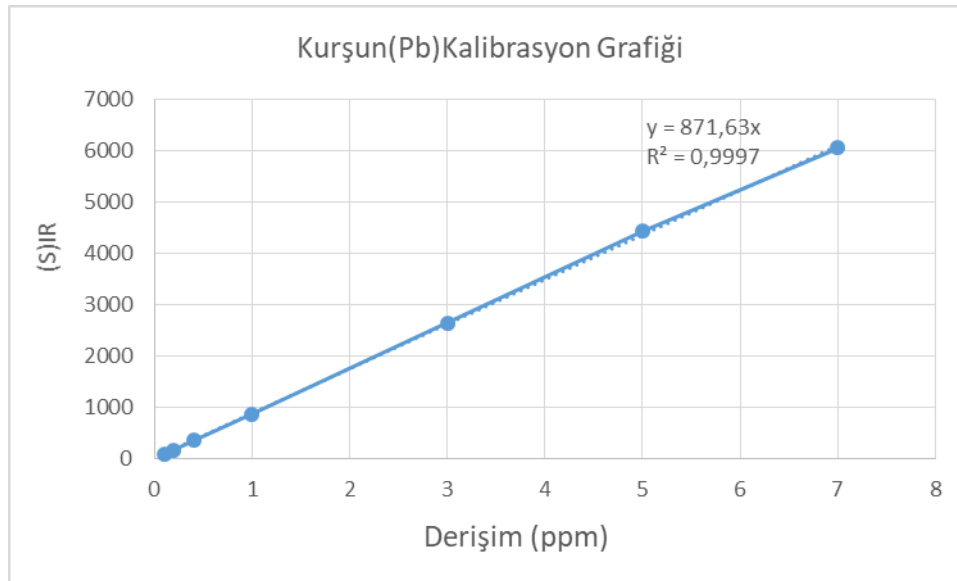
**Şekil 4.2.** Kadmiyum (Cd) için çizilen kalibrasyon grafiği



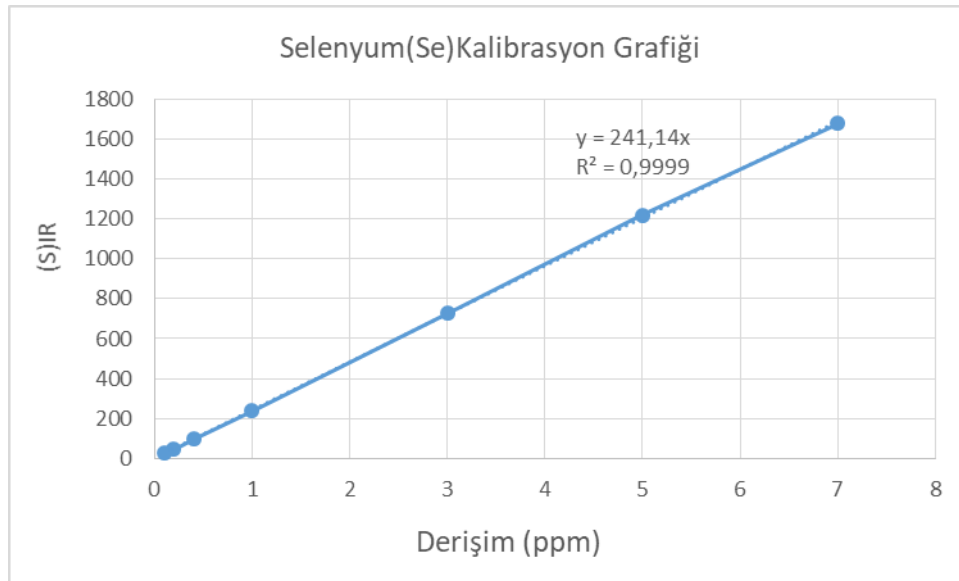
**Şekil 4.3.** Kobalt (Co) için çizilen kalibrasyon grafiği



**Şekil 4.4.** Nikel(Ni) için çizilen kalibrasyon grafiği



**Şekil 4.5.** Kurşun(Pb) için çizilen kalibrasyon grafiği



Şekil 4.6. Selenyum(Se) için çizilen kalibrasyon grafiği

### 4.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada Batman merkez, merkez ilçe, ilçe ve köyler dahil olmak üzere toplam altı adet faal durumda bulunan arıtma tesisinden alınan atık, arıtılmış ve temiz su örnekleri uygun laboratuvar şartlarında muhafaza edilmiştir. Alınan bu su örneklerinin ağır metal (Arsenik (As), Krom (Cr), Kobalt (Co) Kurşun (Pb), Nikel (Ni) ve Selenyum (Se)) derişimleri katı faz ekstraksiyon (özütleme) yönteminin kolon tekniği kullanılarak zenginleştirilmesi sağlandı. Modifiye silika jel ile kolon yöntemi kullanılarak ağır metal elementlerinin zenginleştirilme şartları incelendi. Çözeltinin pH'ı, hacmi, akış hızı, elüsyon çözeltisi türü ve matriks iyonları gibi faktörlerin etkileri değerlendirilerek optimum zenginleştirme şartları saptandı. Geliştirilen zenginleştirme tekniği ile altı farklı arıtma tesislerinden alınan atık, arıtılmış ve temiz su örneklerinin Arsenik (As), Krom (Cr), Kobalt (Co) Kurşun (Pb), Nikel (Ni) ve Selenyum (Se) derişimleri ölçüldü. Metodun geçerliliği test edildikten sonra atık, arıtılmış ve temiz su örneklerinin yukarıda zikredilen eser elementlerin derişimi Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre de okundu. Geri kazanım testleri, mikro konsantrasyon yöntemi ile tüm analitler için yapıldı ve absorbe edici çözelti olarak 2M HNO<sub>3</sub> asit çözeltisi kullanılarak %95 düzeyinde bir geri kazanım sağlandı. Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre ile girişimlerin minimum seviyeye indirilmesi için en önemli unsur

olan emici çözelti olarak seyreltilmiş HNO<sub>3</sub> (nitrik asit) kullanıldı. Bazı elementlerin analizinde ICP-MS İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometri ile ölçüm yapılarak Atomik Absorpsiyon Spektrometresi ile yapılan ölçümler ile kıyaslandı. Elde edilen sonuçlar ağır metal derişimleri ve su örnekleri bazında değerlendirilmiştir. Ölçülen atık, arıtılmış ve temiz sulardaki eser elementlerin ölçülen derişimleri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır.

#### **4.3.1. Arsenik (As)**

Arsenik (As) için yapılan ölçümler neticesinde sonuçların birbirinden farklı olduğu gözlenmiştir. Ortalama olarak Arsenik (As) derişimlerinin 10 ppb ( $\mu\text{g/L}$ ) seviyesinin altında olduğu tespit edilmiştir. Bu seviyedeki Arsenik derişiminin hem Türk Standardı 266 (Su kalite standardı) hemde uluslararası diğer su kalite standartları bakımından herhangi bir ağır metal kirliliği taşımadıkları ve sakıncalı bir durum taşımadıkları anlaşılmıştır. Ölçümü yapılan atık, arıtılmış ve temiz sularda genel itibarıyla atıksu ile temiz suların arsenik derişimlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Buradan şu sonuç çıkarılabilir, atık sular Arsenik (As) bakımından kirlenmemiştir. Ancak arıtıldıktan sonra ise Arsenik (As) derişimleri yarı yarıya azalmıştır. Bu da bize gösteriyorki atıksu arsenik bakımından kirlenmemiş ama arıtıldıktan sonra arsenik kirliliği yarı yarıya azalmıştır. Ölçülen bu sularda Arsenik'in İnsan, çevre ve canlı sağlığı açısından bir tehlike arzemediği kanaatine varılmıştır. Ayrıca su yönetmeliği kriterlerine göre kalite sınıfı olarak ağır metal (arsenik) ölçümleri itibarıyla I. kalite su sınıfında yer almaktadır. Ancak bu suların kullanılabilmesi ya da içilebilmesi için kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri yapılmalıdır.

#### **4.3.2. Kadmiyum (Cd)**

Kadmiyum (Cd) için yapılan ölçümler neticesinde ağır metal derişim sonuçlarının birbirine çok yakın olması, paralellik göstermesi ve ağır metal kirliliğinin yok denecek kadar düşük olması dikkat çekmektedir. Tüm atıksu numunelerinin Kadmiyum (Cd) derişimleri incelendiğinde değerlerin düşük seyrettiği ve sadece 1 nolu arıtma tesisinden alınan atık su örneğinin kadmiyum derişimi 14 ppb ( $\mu\text{g/L}$ ) olarak ölçülmüş olup arıtıldıktan sonra standart değer olan 10 ppb ( $\mu\text{g/L}$ ) altına düştüğü ve

Kadmiyum bakımından kirlilik giderilmiştir. 2 ve 6 nolu merkezden alınan numunelerin Kadmiyum derişimi sıfır olarak tespit edilmiş olup bu merkezlerde herhangi bir kadmiyum kirliliğine rastlanılmamıştır. Kadmiyum (Cd) derişimi bakımından 10 ppb nin altında olduğu için ağır metal kirliliği taşımadığı ve su kalite yönetmeliğine göre I. Kalite su sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Ancak bu suların kullanılabilmesi ya da içilebilmesi için kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri yapılmalıdır.

#### **4.3.3. Kobalt (Co)**

Kobalt (Co) metali için yapılan ölçümler neticesinde yine aynı şekilde altı arıtma tesisinden alınan tüm numunelerin Kobalt derişimlerinin paralellik gösterdikleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların birbiriyle son derece uyumlu olduğu gözlenmiştir. Özellikle Kobalt (Co) derişimleri tüm numunelerde düşük seviyede seyrettiği gözlenmiştir. Ağır metalletin oksik etki yapan elementlerin minimum düzeyleri dikkate alındığında genel olarak 10 ppb ( $\mu\text{g/L}$ )'den daha düşük değerler olarak dikkat çekmektedir. I. Arıtma tesisinden alınan atık su numunesi hariç, diğer tüm numuneler Kobalt (Co) derişim düzeyi bakımından 10 ppb ( $\mu\text{g/L}$ )'nin altında olduğu için Kobalt metali bakımından ağır metal kirliliği taşımadığı ve su kalite yönetmeliğine göre I. Kalite su sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Ancak bu suların kullanılabilmesi ya da içilebilmesi için kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri yapılmalıdır.

#### **4.3.4. Kurşun (Pb)**

Kurşun(Pb) ağır metal kirliliği açısından en tehlikeli elementlerin başında gelmektedir. Kurşun (Pb) metali için yapılan ölçümler neticesinde yine aynı şekilde tüm numunelerin birbirleriyle paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Kurşun metali ölçüm sonuçlarının birbiriyle son derece uyumlu olduğu gözlenmiştir. Özellikle Kurşun (Pb) derişimleri tüm numunelerde düşük seviyede seyrettiği gözlenmiştir. Toksik etki yapan elementlerin minimum düzeyleri dikkate alındığında Kurşun (Pb) derişimleri genel olarak 10 ppb ( $\mu\text{g/L}$ ) den düşük değerler olarak dikkat çekmektedir. I. Numunenin atık suyu hariç, tüm numuneler Kurşun (Pb) düzeyi bakımından 10 ppb ( $\mu\text{g/L}$ )'nin altında olduğu için ağır metal kirliliği taşımadığı ve su kalite yönetmeliğine göre I. Kalite sınıfında yer almışlardır. I. Numunenin atık suyu II. kalite olarak değerlendirilse bile

genel itibarıyla 10 ppb( $\mu\text{g/L}$ )'ye yakın oldukları için ağır metal kirliliği açısından önemli bir risk taşımamaktadırlar. Ancak bu suların kullanılabilmesi ya da içilebilmesi için kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri yapılmalıdır.

#### **4.3.5. Nikel (Ni)**

Nikel (Ni) Elementi için yapılan ölçümler neticesinde atık, arıtılmış ve temiz suların Nikel (Ni) derişimi açısından hiçbir ağır metal kirlilik emaresi görülmediği ve tüm numunelerin Nikel (Ni) derişimlerinin sıfıra yakın düzeyde olduğu hatta bazı atık su numunelerinde dahi sıfır gözlendiği ve bu bakımdan Nikel(Ni) metalinin ağır metal kirliliği taşımadığı kanaatine varılmıştır. Ayrıca bu arıtma tesislerinden alınan numunelerin Nikel kirliliği açısından herhangi bir risk oluşturmadıkları kanaatine varılmıştır. Yine aynı şekilde su kalite yönetmeliğine göre I. Kalite su sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Ancak bu suların kullanılabilmesi ya da içilebilmesi için kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri yapılmalıdır.

#### **4.3.6. Selenyum (Se)**

Selenyum (Se) Metali için yapılan ölçümler neticesinde Selenyum (Se) derişimlerinin birbirleriyle uyumlu oldukları sonuçların birbirleriyle paralellik gösterdiği ve ortalama Selenyum (Se) derişimlerinin kabul edilebilir düzeyde oldukları gözlenmiştir. Bazı arıtma tesileri mevsimsel bazda değişkenlik gösterebilir ortalama değer olarak normal sınır değerinin altında olduğu gözlenmiştir. Diğer noktalarla kıyaslandığında yine I nolu arıtma tesisinde Selenyum miktarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. I. Arıtma hariç, diğer arıtma tesislerinin selenyum derişimleri uyumlu ve makul seviyelerde olduğu ve Selenyum (Se) bakımından herhangi bir kirlilik ve risk taşımadıkları tespit edilmiştir. Su kalite yönetmeliğine göre I. Kalite su sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir. Ancak bu suların kullanılabilmesi ya da içilebilmesi için kimyasal ve mikrobiyolojik analizleri yapılmalıdır.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmamızda, Batman merkez, merkez ilçe, ilçe ve köy olmak üzere farklı yerleşim birimlerinde bulunan toplam altı adet arıtma tesisinden alınan atık, arıtılmış ve temiz su örneklerinin bazı ağır metallerin (Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Kobalt (Co), Nikel (Ni), Kurşun (Pb), Selenyum (Se) kirlilik seviyeleri araştırıldı. Çalışma yaptığımız atık su, arıtılmış su ve temiz su numunelerinin özellikle toksik etki yapan ağır metaller olmasına özen gösterilmiştir. Bu elementlerin analizleri yapılırken derişim değerlerinin mikro (ppb ( $\mu\text{g/L}$ )) düzeyde olmasından dolayı ölçümünün Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresiyle direk tayin yapılmasının mümkün olamayacağı ve bu yüzden bir zenginleştirme yönteminin elzem olduğu düşünülmüştür. Zenginleştirme yöntemleri kaynak araştırması kısmında da belirtildiği üzere farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlar sırasıyla buharlaştırma, sıvı- sıvı ekstraksiyon, adsorpsiyon, birlikte çöktürme, reçine kolonundan geçirme ve katı faz ekstraksiyondur. Bizim bu çalışmamızda katı faz ekstraksiyon (özütleme) yönteminin kolon tekniğini kullanarak zenginleştirme (önderiştirme) işlemleri yapıldı. Bunun en önemli nedeni ise yöntemin çeşitli zenginleştirme yöntemlerine kıyasla katı faz özütleme yöntemi, basit, hızlı, ucuz ve yüksek zenginleştirme faktörü elde edilebilmesinden ve de, en etkili çoklu element zenginleştirme yöntemlerinden biri olmasıydı. Bu yöntem birçok önemli avantaja sahiptir. Bunlar; yöntemin hızlı olması ve verimin yüksek ve uygulamanın kolay olması şeklinde sıralanması mümkündür.

Ayrıca uyguladığımız metodun geçerliliğini ispatlamak amacıyla bazı suların herhangi bir işleme tabi tutulmadan sadece pH'sını düşürerek ölçüm yaptığımızda ağır metal derişimlerinin ölçüm alt sınırının altında kalması ve sonuç alınamamasıdır. Ayrıca kontrol numuneleri olan Arsenik (As) ve Selenyum (Se) elementleri için ICP-MS ile yaptığımız ölçümlerle kıyasladığımızda sulardaki ağır metal düzeyleri, zenginleştirdiğimiz ve AAS ile ölçtüğümüz değerlerle (Arsenik, Selenyum) uyumlu olduğu, paralellik gösterdiği ve yüksek düzeyde geri dönüşüm elde edildiği ve yöntemin geçerliliği açısından kabul edilebilir olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızın diğer bir yönü ise özellikle çevre, canlı ve insan sağlığı açısından ağır metal kirliliği, yaşadığımız çevreyi, tabiatı doğrudan ve dolaylı olarak kirlettiğinden dolayı yukarıda zikredilen sulardaki toksik ağır metal ölçümleri son zamanlarda artarak önem kazanmıştır. Toksik ağır metal kirliliği özellikle canlı vücudundaki birikimi uzun

vadede önemli sağlık sorunlarına yol açtığı bilimsel verilerle sabittir. Bu nedenle Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Avrupa Birliği su kriterleri ve ülkemizde de TS (Türk Standartları) ağır metal kirliliği ile ilgili çalışmalar yaparak her bir element için ağır metal düzeylerinin derişimlerini  $\mu\text{g/L}$  (ppb) güncelleyerek adı geçen uluslararası standartlarla uyumlu hale getirilmiştir. Bu kriterler göz önüne alınarak bir suyun sağlıklı olup olmadığı, içildiğinde veya kullanıldığında direk ya da dolaylı olarak herhangi bir olumsuzluğa sebebiyet verip vermeyeceğini rahatlıkla söylemek mümkün olacaktır. Bu bakımdan bizde Batman yöresinde bulunan ve altı farklı lokasyondaki arıtma tesisinden alınan atık, arıtılmış ve temiz su örneklerinin ağır metal kirliliğinin derişim bazında ayrı ayrı ele alındığında şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Batman ve çevresinde bulunan atıksu arıtma tesislerinin bazılarında kısmen de olsa bazı ağır metal kirliliği taşıdığı yapılan çalışma sonucu ortaya çıkmıştır. Ağır metal kirliliği olduğu tespit edilen, bu tesis sularının genellikle içme suyu ya da kullanma suyu olarak kullanılmasının sakıncalı olduğu kanaatine varılmıştır. Diğer ölçüm merkezi sularının ağır metal bakımından içme ve kullanma suyu olarak kullanılmasının uygun olacağı kanaatine varılmıştır. Bununla birlikte bizim çalışmamız sadece ağır metal tayini esas kabul edilmiş olup bu suların kullanılabilmesi için ayrıca kimyasal ve bakteriyolojik analizlerinin yapılması da gerekmektedir. Bu hususta yöre halkının bilinçlendirilmesi ve ilgili resmi kurumlara bilgi verilmesi kararlaştırılmıştır.

### **Öneriler;**

1-Ağır metal analizleri insan ve canlı hayatı için son derece önemli bir konu olduğu için insanların sürekli uyarılması ve bilinçlendirilmesi lüzumu ortaya çıkmıştır.

2-Su hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olduğundan içme ve kullanma sularımıza dikkat etmeli ve hassas davranmalıyız.

3-Toksik etki yapan ağır metallerin yanı sıra insan vücudu ve organları için lüzumlu ve besleyici elementleri de dikkate almalı ve bunlar ile ilgili çalışmalar yapılmalıdır.

4-Yapılan bu çalışma sonrasında bu yöntemin diğer ağır metal ölçümleri için uygulanabileceği kanaatine varılmıştır.

5-Katı faz ekstraksiyon yönteminin kolon tekniği kullanılarak yapılan zenginleştirme sonucunda geri kazanım %95 seviyesinde olup analitik geri kazanımın iyi olduğu ve yöntemin geçerliliği test edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Adedara, I. A., Fabunmi, A. T., Ayenitaju, F. C., Atanda, O. E., Adebowale, A. A., Ajayi, B. O., Farombi, E. O., 2020, Neuroprotective mechanisms of selenium against arsenic-induced behavioral impairments in rats, *NeuroToxicology*, 76, 99–110.
- Ageena, N.A., 2010, The use of local sawdust as an adsorbent for the removal of copper Ion from wastewater using fixed bed adsorption, *Engineering & Technology Journal*, 28(2):224-235.
- Ahmad, A. L., Ooi, B. S., 2010, A study on acid reclamation and copper recovery using low pressure nanofiltration membrane, *Chemical Engineering Journal*, 156(2), 257–263.
- Akın F. ve Kahraman, Ö., 2018, *Anadolu Tarım Bilim. Derg. /Anadolu J Agr Sci*, 33, 177-183.
- Alam, M.G.M., Snowa, E.T., Tanaka, A., 2002, Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Samta village, Bangladesh, *The Science of the Total Environment*, 308 (2003), 83–96.
- Alfassi, Z.B., Lan, C.R., Sun, Y.C., Chao, J.H., Chung, C., Yang, Lavi, M.H., 1990, Preconcentration of Trace Elements from Natural Water for Analysis by Neutron Activation, *Radiochimica Acta*, 50, 225-229.
- Anonim, 2004, Mevzuat Bilgi Sistemi, Ankara, 25687, <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7221&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0> [Ziyaret Tarihi: 21 Eylül 2019].
- Anonim, 2008a, “Dünya Su Günü”, [http://www.jmo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=2276&tipi=2&sube=4](http://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=2276&tipi=2&sube=4)
- Anonim, 2008b, [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr)
- Anonim, 2014, DSİ, Ankara, <http://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> [Ziyaret Tarihi: 22 Eylül 2019].
- Anonim, 2017, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/01/20170106-1.htm> [Ziyaret Tarihi: 23 Eylül 2019].
- Anonymous, 2019, Atomic Absorption Spectrometry, <http://www.liskeard.cornwall.sch.uk/images/Liskeard-Sixth-Form/Atomic-Absorption-Spectrometry.pdf> [Ziyaret Tarihi: 22 Kasım 2019].
- Apiratikul, R., Pavasant, P., 2008, Batch and column studies of biosorption of heavy metals by *Caulerpa lentillifera*, *Bioresour. Technol.*, 99, 2766-2777.

- Babel, S., Kurniawan, T.A., 2003, Various treatment technologies to remove arsenic and mercury from contaminated groundwater: an overview, Proceedings of the First International Symposium on Southeast Asian Water Environment, Bangkok, Thailand, 433–440.
- Barakat, M., 2011, New trends in removing heavy metals from industrial wastewater, *Arabian Journal of Chemistry*, 4(4), 361–377.
- Başkan, T., 2006, Arıtılmış Evsel Atıksuların Tarımda Sulama Amaçlı Yeniden Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 3.
- Baucells, M. and Kelipo, M.T., 1985, Determination of Soil Extracts by Furnace AAS, *Anal. Chem.*, 22, 61-70.
- Baucells, M., Lazort, G., Ratura, M., 1985, Determination of Cadmium and Molybdenum in soil extracts by Graphite Furnace AAS and Introductively Coupled Plasma Spectrometry, *Analyst*, 110, 1423-1429.
- Berrow, M.L., Winnie, M., Stein, 1983, Extraction of Metals from Soils and Swage Sludges by Refluxing with AQUA REGIA, *Analyst*, 198, 277-284.
- Bora, A. J. and Dutta, R. K., 2019, Removal of metals (Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, and Co) from drinking water by oxidation-coagulation-absorption at optimized pH, *Journal of Water Process Engineering*, 31, 100839, 1-9.
- Borba, C., Guirardello, R., Silva, E., Veit, M., Tavares, C., 2006, Removal of nickel(II) ions from aqueous solution by biosorption in a fixed bed column: Experimental and theoretical breakthrough curves, *Biochemical Engineering Journal*, 30(2), 184–191.
- Botkin, D. and Keller, E., 1995, Environmental Science, John Wiley Sons, *New York*, 1995.
- Chang, Q., Wang, G., 2007, Study on the macromolecular coagulant PEX which traps heavy metals, *Chem. Eng. Sci.*, 62, 4636-4643.
- Chareerntanyarak, L., 1999, Heavy metals removal by chemical coagulation and precipitation, *Wat. Sci. Technol*, 39, 135-138.
- Chen, S., Xiao, M., Lu, D., Zhan, X., 2007, Carbon Nanofibers as Solid-Phase Extraction Adsorbent for the Preconcentration of Trace Rare Earth Elements and Their Determination by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, *Analytical Letters*, 40(11), 2105–2115.
- Cséfalvay, E., Pauer, V., Mizsey, P., 2009, Recovery of copper from process waters by nanofiltration and reverse osmosis, *Desalination*, 240(1-3), 132–142.

- Cvetkovic J., Arpadjan S., Karadjowa I., Stafilow T., 2006, Determination of Cadmium in Wine by Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry, *Acta Pharmaceutica*, 56(1), 69-77.
- Çetinavcı, İ. H., 2008, The Responsibilities Of The Infrastructural Organisations And People For Water Consumption, *Su Tüketimi Arıtma Yeniden Kullanım Sempozyumu*, İznik-Bursa, 9-16.
- Dağ, B., 2010, Van yöresindeki bazı kaynak ve maden sularındaki ağır metal düzeylerinin aktif karbon zenginleştirme yöntemi kullanılarak AAS ve ICP-MS ile tayini ve florür seviyesinin araştırılması, Doktora Tezi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, 1-28.
- Dadfarnia S., Talebi M., Shabani A. M. H., Beni Z., 2007, Determination of Lead and Cadmium in Different Samples by Flow Injection Atomic Absorption Spectrometry Incorporating a Microcolumn of Immobilized Ammonium Pyrrolidine Dithiocarbamate on Microcrystalline Naphthalene, *Croatica Chemica Acta*, 80, (1), 17-23.
- Das, K.K., Das, S.N., Dhundasi, S.A., 2008, Nickel, its adverse health effects & oxidative stress, *Indian J. Med. Res.*, 128, 412-425.
- Demir, M., 1986, Toprak Örneklerinde Bazı Eser Elementlerin AAS ile Tayininde Halka Tekniğinin Yeri, Doktora Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Demir, Ö., Yıldız, M., Sercan, Ü., Arzum, C. Ş., 2017, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 02, 1-14.
- Deng, B. and Chan, W. T., 2001, Metal speciation using capillary electrophoresis - inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and polytetrafluoroethylene capillaries, *Electrophoresis*, 22(11), 2186-2191.
- Deng, B., Zhu, P., Wang, Y., Feng, J., Li, X., Xu, X., Xu, Q., 2008, Determination of Free Calcium and Calcium-Containing Species in Human Plasma by Capillary Electrophoresis-Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, *Analytical Chemistry*, 80(15), 5721-5726.
- Ege, A., 2005, Deniz Suyu Ve Mineral Sulardaki Bazı Eser Elementlerin Al(OH)<sub>3</sub> İle Birlikte Çöktürülerek Ayrılması Ve Faas İle Tayini, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 17-20.
- Elçi, L., Kartal,Ş., Ülgen, A., 1998, Ensrümantal Analiz Ders Notları, *Kayseri*.
- Erdoğan, M., 2015, Katı Faz Özütleme(Spe) Tekniği Kullanılarak Bazı Su Ve Gıda Örneklerinde Alüminyumun Ayrılması/Zenginleştirilmesi Ve Atomik Absorpsiyon Spektrometrisi İle Tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırşehir, 28-31.
- Erguvanlı K, Yüzer E., 1987 Yeraltısuları Jeolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, *İstanbul*, 234-268.

- Fernandes, J., Hu, X., Ryan Smith, M., Go, Y.M., Jones, D.P., 2018, Selenium at the redox interface of the genome, metabolome and exposome, *Free Radic Biol Med.*, 127, 215-227.
- Figoli, A., Cassano, A., Criscuoli, A., Mozumder, M. S. I., Uddin, M. T., Islam, M. A., Drioli, E., 2010, Influence of operating parameters on the arsenic removal by nanofiltration, *Water Research*, 44(1), 97–104.
- Fu, F. and Wang, Q., 2011, Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review, *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407–418.
- Ghaedi, M., Ahmadi, F., Soylak, M., 2007, Preconcentration and separation of nickel, copper and cobalt using solid phase extraction and their determination in some real samples, *Journal of Hazardous Materials*, 147(1-2), 226–231.
- Gonzalvez, A., Armenta, S., Cervera, M., Guardia, M. D. L., 2010, Non-chromatographic speciation. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 29(3), 260–268.
- Grabowska, I., 2011, Reduction of Heavy Metals Transfer into Food, *Polish J. of Environ. Stud. Vol.*, 3(20), 635-642.
- Gupta, V. K., Gupta, M., Sharma, S., 2001, Process development for the removal of lead and chromium from aqueous solutions using red mud—an aluminium industry waste, *Water Research*, 35(5), 1125–1134.
- Gübbük, İ. H., Koç, Z. E., Ersöz, M., 2006, Schiff Bazı Türevi İmmobilize Edilmiş Silika Jel Kullanılarak Sulu Çözeltilerden Bakırın Uzaklaştırılması, *S Ü Fen Ed Fak Fen Derg*, 28, 131-138.
- Güçer, Ş., 2008, Su Ve Önemi, *Su Tüketimi Arıtma Yeniden Kullanım Sempozyumu*, İznik-Bursa, 1-7.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z., 1997, Su Kalitesi, 43, *Sağlık Bakanlığı*, Ankara, 34-55.
- Gündüz, T., 2008, Çevre Kimyası, 1, *Ankara*, 135-146.
- Gündüz, T., 2002, İnrümentel Analiz, Altıncı Baskı, Gazi Kitabevi, *Ankara*, 25-27.
- Hazer, O., 2003, Çevre Örneklerinde Bazı Eser Ağır Metallerin AAS İle Tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*, 26-35.
- Hegazi, H. A., 2013, Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents, *HBRC Journal*, 9(3), 276–282.
- Hinds, M. W., Jackson, K. W., Newman, A. P., 1985, Electrothermal atomisation atomic-absorption spectrometry with the direct introduction of slurries, Determination of trace metals in soil, *The Analyst*, 110(8), 947-960.

- Hosnedlova B., Kepinska M., Skalickova S., Fernandez C., Ruttkaynedecky B., Peng Q., 2018, Nanoselenium and its nanomedicine applications: a critical review, *International Journal of Nanomedicine*, 13: 2107-2128.
- Hu, T., Liang, Y., Zhao, G., Wu, W., Li, H., Guo, Y., 2019, Selenium biofortification and antioxidant activity in cordyceps militaris supplied with selenate, selenite, or selenomethionine, *Biol Trace Elem Res.*, 187, 553-561.
- Hua, M., Zhang, S., Pan, B., Zhang, W., Lv, L., Zhang, Q., 2012, Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review: *Journal of Hazardous Materials*, 211-212, 317–331.
- Huisman, J. L., Schouten, G., Schultz, C., 2006, Biologically produced sulphide for purification of process streams, effluent treatment and recovery of metals in the metal and mining industry, *Hydrometallurgy*, 83(1-4), 106–113.
- Ince, M. and Ince, O. K., 2017, An Overview of Adsorption Technique for Heavy Metal Removal from Water/Wastewater: A Critical Review, *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3(2), 10–19.
- Jackson, L., Fries, T., Grossman, J., 1991, Geological and Inorganic Material, *Anal. Chem.*, 63, 33-35.
- Jamil, M., Zia, M.S., Qasim, M., 2010, Contamination of agro-ecosystem and human health hazards from wastewater used for irrigation, *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 32, 370-378.
- Kabbashi, N.A., Atieh, M.A., Al-Mamun, A., Mirghami, M.E.S., Alam, M.D.Z., Yahya, N., 2009, Kinetic adsorption of application of carbon nanotubes for Pb(II) removal from aqueous solution, *J. Environ. Sci.*, 21, 539-544.
- Kadirvelu, K. 2001, Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste, *Bioresource Technology*, 76(1), 63–65.
- Kandah, M.I., Meunier, J.L., 2007, Removal of nickel ions from water by multi-walled carbon nanotubes, *J. Hazard. Mater.*, 146, 283-288.
- Kariper, İ. A., 2008, Katı Faz Ekstraksiyonu İle Eser Element Zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 24-26.
- Kartal, S., Elçi, L., Doğan, M., 1992, Investigation of Lead, Nickel, Cadmium and Zinc Pollution of Traffic in Kayseri, *Fresenius Environment Bul.*, 1, 28-33.
- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y., Huang, Y., Zhu, Y., 2008, Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China, *Environmental Pollution*, 152(3), 686–692.

- Khoei, A.J., Joogh, N.J.G., Darvishi, P., Rezaei, K., 2019, Application of physical and biological methods to remove heavy metal, arsenic and pesticides, malathion and diazinon from water, *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.*, 19 (1), 21–28.
- Kongsricharoern, N., and Polprasert, C., 1995, Electrochemical precipitation of chromium (Cr<sup>6+</sup>) from an electroplating wastewater, *Water Science and Technology*, 31(9), 109–117.
- Koutros, S., Lenz, P., Hewitt, S.M., Kida, M., Jones, M., Schned, A.R., 2018, RE: Elevated bladder cancer in northern new England: The role of drinking water and arsenic, *JNCI: J. Nat. Cancer Inst.*, 110 (11), 1273–1274.
- Ku, Y., and Jung, I. L., 2001, Photocatalytic reduction of Cr(VI) in aqueous solutions by UV irradiation with the presence of titanium dioxide, *Water Research*, 35(1), 135–142.
- Kuo, C.Y., Lin, H.Y., 2009, Adsorption of aqueous cadmium (II) onto modified multiwalled carbon nanotubes following microwave/chemical treatment, *Desalination*, 249, 792-796.
- Li, Q., Yu, J., Zhou, F., Jiang, X., 2015, Synthesis and characterization of dithiocarbamate carbon nanotubes for the removal of heavy metal ions from aqueous solutions, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 482, 306-314.
- Li, Y.H., Liu, F.Q., Xia, B., Du, Q.J., Zhang, P., Wang, D.C., Wang, Z.H., Xia, Y.Z., 2010, Removal of copper from aqueous solution by carbon nanotube/calcium alginate composites, *J. Hazard. Mater.*, 177, 876-880.
- Liu Z. H., Zhou F. Q., Jiang F. M., Huang R. H., Yang L., Zhou L. Z., 2008, Determination of Trace Gold by Flame Atomic Absorption Spectrometry after Separation and Preconcentration with Load Nanometer Titanium Dioxide, *Spectr. and Spectral Anal.*, 28, (2), 456-459.
- Liu, R. and Liang, P., 2008, Determination of trace lead in water samples by graphite furnace atomic absorption spectrometry after preconcentration with nanometer titanium dioxide immobilized on silica gel, *Journal of Hazardous Materials*, 152(1), 166–171.
- Lundh, M., Jönsson, L., Dahlquist, J., 2000, Experimental studies of the fluid dynamics in the separation zone in dissolved air flotation, *Water Research*, 34(1), 21–30.
- Ma, X., Huang, B., Cheng, M., 2007, Analysis of trace mercury in water by solid phase extraction using dithizone modified nanometer titanium dioxide and cold vapor atomic absorption spectrometry, *Rare Metals*, 26(6), 541–546.
- Maltez, H. F., Vieira, M. A., Ribeiro, A. S., Curtius, A. J., Carasek, E., 2008, Simultaneous on-line pre-concentration and determination of trace metals in environmental samples by flow injection combined with inductively coupled

- plasma mass spectrometry using silica gel modified with niobium(V) oxide, *Talanta*, 74(4), 586–592.
- Mehdi, Y., Hornick, J.L., Istasse, L., Dufrasne, I., 2013, Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions, *Molecules*, 18, 3292-3311.
- Mikuła, B. and Puzio, B., 2007, Determination of trace metals by ICP-OES in plant materials after preconcentration of 1,10-phenanthroline complexes on activated carbon, *Talanta*, 71(1), 136–140.
- Mohammadi, T., Moheb, A., Sadrzadeh, M., Razmi, A., 2005, Modeling of metal ion removal from wastewater by electro dialysis, *Separation and Purification Technology*, 41(1), 73–82.
- Murthy, Z., Chaudhari, L. B., 2008, Application of nanofiltration for the rejection of nickel ions from aqueous solutions and estimation of membrane transport parameters, *Journal of Hazardous Materials*, 160(1), 70–77.
- Muthukrishnan, M. and Guha, B., 2008, Effect of pH on rejection of hexavalent chromium by nanofiltration, *Desalination*, 219(1-3), 171–178.
- Naseem, R. and Tahir, S., 2001, Removal of Pb(II) from aqueous/acidic solutions by using bentonite as an adsorbent, *Water Research*, 35(16), 3982–3986.
- Nguyen, C.M., Bang, S., Cho, J., Kim, K.W., 2009, Performance and mechanism of arsenic.
- Oymak, T., Silikajel- Dimetilgloksim Katı Faz Ekstraksiyonu İle Çeşitli Örneklerdeki Palladyumun Atomik Absorpsiyon Spektrometrik Yöntemle Tayini, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 2003.
- Özbay, İ. ve Kavaklı, M., 2008, "Türkiye'de ve diğer ülkelerde arıtılmış atıksuların geri kazanım uygulamalarının incelenmesi" *Çevre Sorunları Sempozyumu*, Kocaeli, 1052–65.
- Özdeş, D., 2012, Taşıyıcı Element İlavesiz Birlikte Çöktürme Yöntemiyle Bazı Eser Elementlerin Zenginleştirilmesi Ve Uygulamalar, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 29.
- Pan, B., Pan, B., Zhang, W., Lv, L., Zhang, Q., Zheng, S., 2009, Development of polymeric and polymer-based hybrid adsorbents for pollutants removal from waters, *Chemical Engineering Journal*, 151(1-3), 19–29.
- Pandey, P. K., Verma, Y., Choubey, S., Pandey, M., Chandrasekhar, K., 2008, Biosorptive removal of cadmium from contaminated groundwater and industrial effluents. *Bioresource Technology*, 99(10), 4420–4427.
- Pedro, J., Stripekis, J., Bonivardi, A., Tudino, M., 2008, Determination of tellurium at ultra-trace levels in drinking water by on-line solid phase extraction coupled to

- graphite furnace atomic absorption spectrometer, *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 63(1), 86–91.
- Peng, S.H., Wang, W.X., Li, X.D., Yen, Y.F., 2004, Metal partitioning in river sediments measured by sequential extraction and biomimetic approaches, *Chemosphere*, 57, 839-851.
- Pillay, K., Cukrowska, E.M., Coville, N.J., 2009, Multi-walled carbon nanotubes as adsorbents for the removal of parts per billion levels of hexavalent chromium from aqueous solution, *J. Hazard. Mater.*, 166, 1067-1075.
- Pintilie, L., Torres, C.M., Teodosiu, C., Castells, F., 2016, Urban wastewater reclamation for industrial reuse: An LCA case study, *Journal of Cleaner Production*, 139, 1–14.
- Polat, H. and Erdogan, D., 2007, Heavy metal removal from waste waters by ion flotation, *Journal of Hazardous Materials*, 148(1-2), 267–273.
- Qu, X., Alvarez, P.J.J., Li, Q., 2013, Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment, *Water Research*, 47(12), 3931-3946.
- Ramsey, M.H., Trompson, M., Pahlavanpour, B., 1982, Water Analysis by Inductively Coupled Plasma Atomic-Emission Spectrometry after a Rapid Preconcentration, *Analyst*, 107, 1330-1334.
- Saint-Jacques, N., Brown, P., Nauta, L., Boxall, J., Parker, L., Dummer, T.J., 2018, Estimating the risk of bladder and kidney cancer from exposure to low-levels of arsenic in drinking water, nova scotia, canada, *Environ. Int.*, 110, 95–104.
- Samrani, A. E., Lartiges, B., Villieras, F., 2008, Chemical coagulation of combined sewer overflow: Heavy metal removal and treatment optimization, *Water Research*, 42(4-5), 951–960.
- Sandip, M., Shengyan, P., Xiaoke, W., Hui, M., Yingchen, B., 2019, Hierarchical porous structured polysulfide supported nZVI/biochar and efficient immobilization of selenium in the soil, *Science of The Total Environment*, 13(4), 831.
- Shahalam, A. M., Al-Harthy, A., Al-Zawhry, A., 2002, Feed water pretreatment in RO systems: unit processes in the middle east, *Desalination*, 150(3), 235–245.
- Singh, A., Sharma, R.K., Agrawal, M., Marshall, F.M., 2010, Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India, *Food and Chemical Toxicology*, 48, 611-619.
- Singh, R. S., 2008, Studies on Utilization of Wastes for Waste Water Treatment, Thesis Submitted For The Degree Of Doctor of Philosophy In Chemistry, Veer Bahadur Singh Purvanchal University, Jaunpur (U.P.) India, 17-18.

- Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G., 2002, A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters, *Appl. Geochem.*, 17 (5), 517–568.
- Sodhi, K. K., Kumar, M., Agrawal, P. K., Singh, D. K., 2019, Perspectives on arsenic toxicity, carcinogenicity and its systemic remediation strategies, *Environmental Technology & Innovation*, 16, 100462.
- Srivastava, N. and Majumder, C., 2008, Novel biofiltration methods for the treatment of heavy metals from industrial wastewater, *Journal of Hazardous Materials*, 151(1), 1–8.
- Suleiman, J. S., Hu, B., Pu, X., Huang, C., Jiang, Z., 2007, Nanometer-sized zirconium dioxide microcolumn separation/preconcentration of trace metals and their determination by ICP-OES in environmental and biological samples, *Microchimica Acta*, 159(3-4), 379–385.
- Şahan, S., 2006, Amberlite Xad-1180 Reçinesinin Yeni Bir Şelat Yapıcı Reaktif İle Doyurularak Eser Düzeydeki Ağır Metallerin Sorpsiyon Özelliklerinin Belirlenmesi Ve Faas İle Tayinleri, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 13.
- Şen, B. ve Canpolat, Ö., 2008, Elazığ İlinin Su Potansiyeli Ve Su Tüketimi, *Su Tüketimi Arıtma Yeniden Kullanım Sempozyumu*, İznik-Bursa, 63-75.
- Tanık, A., Öztürk, İ., Cüceloğlu, G., 2015, Arıtılmış Atıksuların Yeniden Kullanımı Ve Yağmur Suyu Hasadı Sistemleri (El Kitabı), *Türkiye Belediyeler Birliği*, Ankara, 1.
- Tassel, F., Rubio, J., Misra, M., Jena, B., 1997, Removal of mercury from gold cyanide solution by dissolved air flotation, *Minerals Engineering*, 10(8), 803–811.
- Tessele, F., Misra, M., Rubio, J., 1998, Removal of Hg, As and Se ions from gold cyanide leach solutions by dissolved air flotation, *Minerals Engineering*, 11(6), 535–543.
- Tokalıoğlu, Ş., 1997, Sultansazlığı Su ve Sediment Örneklerinde Metal Türlemesi ve Faktör Analizi, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri.
- Tokalıoğlu, Ş., Kartal, Ş., Elçi, L., 2000, AMBERLİT XAD-16 Reçinesi Üzerinde Zenginleştirme Sonrası Eser Elementlerin Atomik Absorpsiyon Spektrometri İle Tayini, *XIV. Ulusal Kimya Kongresi*, Diyarbakır, 2000, 26.
- Tüzen, M., Saygi, K. O., Soylak, M., 2007, Solid phase extraction of heavy metal ions in environmental samples on multiwalled carbon nanotubes, *Journal of Hazardous Materials*, 152 (2008), 632–639.
- Ullah, H., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M.U., Abbas, Q., Munir, M.A.M., Mian, M.M., 2018, Developmental selenium exposure and health risk in daily foodstuffs: A systematic review and meta-analysis, *Ecotoxicol Environ Saf.*, 149, 291-306.

- Ure, A.M., Hernandez-Artiga, M.P., Mitchell, M.C., 1978, A Carbon-Rod Atomizer for the Determination of Cadmium and Lead in Plant Materials and Soil Extracts, *Anal. Acta*, 96, 37-43.
- Ure, A.M., Mitchell, M.C., 1976, Determination of Cadmium in Plant Material and Soil Extracts by Solvent Extraction and AAS with a Carbon-Rod, *Analytica Chimica Acta*, 87, 283-290.
- Varol, S., Davraz, A., Varol, E., 2008, TAF Prev Med Bull 7(4), 351-356.
- Vinceti M., Vicentini M., Wise L. A., Sacchettini C., Malagoli C., Ballotari P., 2018, Cancer incidence following long-term consumption of drinking water with high inorganic selenium content, *Science of the Total Environment*, 635: 390-396.
- Wang, H.J., Zhou, A.L., Peng, F., Yu, H., Yang, J., 2007a, Mechanism study on adsorption of acidified multiwalled carbon nanotubes to Pb(II), *J. Colloid Interface Sci.*, 316, 277-283.
- Wang, L.K., Hung, Y.T., Shammas, N.K., 2007b, Advanced Physicochemical Treatment Technologies, *Handbook of Environmental Engineering*, 5, Humana, New Jersey.
- Waters, A., 1990, Dissolved air flotation used as primary separation for heavy metal removal, *Filtration & Separation*, 27(2), 70-73.
- Webb, M. R., Andrade, F. J., Hieftje, G. M., 2007, High-Throughput Elemental Analysis of Small Aqueous Samples by Emission Spectrometry with a Compact, Atmospheric-Pressure Solution-Cathode Glow Discharge, *Analytical Chemistry*, 79(20), 7807-7812.
- Wilson, B. and Pyatt, F., 2007, Heavy metal dispersion, persistence, and bioaccumulation around an ancient copper mine situated in Anglesey, UK, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(2), 224-231.
- Wu, H., Fang, C., Du, B., Zhao, C., 2007, Flow injection on-line preconcentration coupled to hydride generation atomic fluorescence spectrometry for ultra-trace amounts of cadmium determination in seawater, *Microchimica Acta*, 160(1-2), 173-178.
- Yavuz, O. ve Aksoy, A., 2006, Örnek Hazırlamada Katı Faz Ekstraksiyonu Metodu, *F.Ü. Sağlık Bil. Dergisi*, 20(3), 259-269.
- Yu, Y. L., Du, Z., Chen, M. L., Wang, J. H., 2007, Coating of a thin layer of NaBH<sub>4</sub> solution for mercury vapor generation coupled to atomic fluorescence spectrometry, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 22(7), 800.
- Zamani, A. A., Yaftian, M. R., Parizanganeh, A., 2012, Multivariate statistical assessment of heavy metal pollution sources of groundwater around a lead and zinc plant, *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 9(1), 1-10.

- Zhang, N., Hu, B., Huang, C., 2007, A new ion-imprinted silica gel sorbent for on-line selective solid-phase extraction of dysprosium(III) with detection by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry, *Analytica Chimica Acta*, 597(1), 12–18.
- Zhao, G., Wu, X., Tan, X., Wang, X., 2011, Sorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions: A Review, *The Open Colloid Science Journal*, 4(1), 19–31.
- Zhu, X., Hu, B., Jiang, Z., Li, M., 2005, Cloud point extraction for speciation of chromium in water samples by electrothermal atomic absorption spectrometry, *Water Research*, 39(4), 589–595.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

<b>Adı Soyadı</b>	Serbülent BALTAŞ
<b>Uyruğu</b>	T.C.
<b>Doğum Yeri ve Tarihi</b>	01.11.1980-KOZLUK
<b>Telefon</b>	05053128027
<b>Faks</b>	04882212771
<b>e-mail</b>	Serbulent72@gmail.com

### EĞİTİM

<b>Derece</b>	<b>Adı, İlçe, İl</b>	<b>Bitirme Yılı</b>
Lise	TED Batman Koleji	1999
Üniversite	Fırat Üniversitesi	2006
Yüksek Lisans	Batman Üniversitesi	2019
Doktora		

### İŞ DENEYİMLERİ

<b>Yıl</b>	<b>Kurum</b>	<b>Görevi</b>
2006-2010	Doğa-Çev. Müh. Ltd. Şti.	Çevre Müh.
2010-	Bioçev Müh. Ltd. Şti.	Çevre Müh.

### UZMANLIK ALANI

Çevresel Etki Değerlendirme Raporları

### YABANCI DİLLER

İngilizce